



**Pedro Micael
Ferreira Azevedo**

**Montagem de laboratório para estudo experimental
de coberturas verdes**



**Pedro Micael Ferreira
Azevedo**

**Montagem de laboratório para estudo experimental
de coberturas verdes**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Doutor António José Barbosa Samagaio, Professor associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro e sob coorientação científica do Doutor Romeu da Silva Vicente, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente	Professora Doutora Ana Isabel Couto Neto da Silva Miranda Professora Associada com Agregação, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro
Vogal	Professor Doutor Armando Baptista da Silva Afonso Professor Associado Convidado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro
Vogal	Professor Doutor António José Barbosa Samagaio Professor Associado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro (Orientador)
Vogal	Professor Doutor Romeu da Silva Vicente Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro (Co-orientador)

Agradecimentos

No final deste longo percurso académico, chega o momento de agradecer a todos aqueles que sempre estiveram comigo, me apoiaram, ajudaram e que sempre me aconselharam da melhor forma.

Um profundo agradecimento aos meus pais, irmãos e restante família pela paciência, compreensão e força transmitida para que nunca desanimasse perante as adversidades.

Aos meus amigos Joana, Dina, Cláudio, João e Rafael que estiveram presentes com a sua mão amiga nos momentos mais difíceis e complicados deste Mestrado, por todos os momentos inesquecíveis e toda a amizade demonstrada. Gostaria também de agradecer a todas as pessoas, amigos e colegas, que de alguma forma me apoiaram e me encorajaram na realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Doutor António José Barbosa Samagaio, e co-orientador, Professor Doutor Romeu Da Silva Vicente, pela disponibilidade sempre manifestada, por todo o apoio e incentivo e por todas as opiniões e críticas científicas dadas, tão importantes no desenvolvimento deste projeto.

Ao Senhor Engenheiro Paulo Palha da Neoturf, que juntamente com os seus colaboradores demonstraram enorme disponibilidade no decorrer dos trabalhos e serão os responsáveis por um dos pontos mais importantes deste trabalho, a instalação da cobertura verde.

Por fim, um agradecimento a todos os envolvidos nesta dissertação e que, de alguma forma, ajudaram na sua realização.

A todos, um muito obrigado!

Palavras-chave

Cobertura verde, Célula-de-teste, Energia em edifícios, Construção sustentável, Transferência de calor em edifícios.

Resumo

O aparecimento do conceito de coberturas verdes, enquanto elemento de construção sustentável, tem justificado estudos sobre os benefícios, em particular ao nível térmico e hidrológico, que estes elementos construtivos apresentam. Após a realização de uma exaustiva pesquisa bibliográfica, foram identificados vários parâmetros a monitorizar num estudo sobre o contributo térmico das coberturas verdes nos edifícios. Concluída a definição dos parâmetros, foi instalada uma “célula-de-teste”, dividida em duas partes iguais e orientada a Sul, cuja fachada se encontra dotada de um vidro duplo. Posteriormente, foi projetado um sistema de aquisição de dados destinado a registar a evolução de temperatura, humidade, radiação solar total e velocidade do vento. Por fim, no referido laboratório, foi instalada, sobre uma das metades da “célula-de-teste”, uma cobertura verde extensiva, considerada a mais adequada à situação e, sobre a outra metade, uma cobertura tradicional.

Keywords

Green Roof, Test Cell, Energy in Buildings, Sustainable Construction, Heat Transfer in Buildings.

Abstract

The concept of green roofs, as an emerging element of sustainable construction, has prompted a number of studies to evaluate its benefits, specifically at the thermal and hydrological levels. After thoroughly looking into the available bibliography, it was possible to identify several parameters that should be monitored when conducting experiments on the thermal effect of green roofs on buildings. When the definition of parameters was completed, a “test-cell” was installed, divided in two equal parts and oriented towards south, whose facade is composed of a double glazing. Subsequently, a data collector system was designed, which registered changes in temperature, humidity, total solar radiation and wind speed. Finally, an extensive green roof was implemented, fit for this application, on one of the “test-cell” halves; on the other half of the “test-cell” a traditional roof was installed.

ÍNDICE

ÍNDICE	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura do trabalho	2
CAPÍTULO 2 - COBERTURAS VERDES	3
2.1. Breve história	3
2.2. Descrição sumária	4
2.3. Justificação da utilização de coberturas verdes	5
2.4. Tipos de Coberturas Verdes	6
2.4.1. COBERTURAS VERDES INTENSIVAS	6
2.4.2. COBERTURAS VERDES EXTENSIVAS	7
2.4.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS	8
2.5. Metodologia de Construção de Coberturas Verdes	9
2.5.1. MEMBRANA IMPERMEABILIZAÇÃO	9
2.5.2. CAMADA DE DRENAGEM	11
2.5.3. CAMADA DE PROTEÇÃO RAIZ	13
2.5.4. CAMADA DE SUBSTRATO	14
2.5.5. CAMADA DE VEGETAÇÃO	15
2.6. Vantagens da Aplicação de Coberturas Verdes	19
2.6.1. VANTAGENS DE CONFORTO E ESTÉTICA	19
2.6.2. VANTAGENS AMBIENTAIS	20
2.6.3. VANTAGENS ECONÓMICAS	21
2.7. Aplicações e Limitações	22
2.8. Legislação aplicável	23
2.9. Exemplos de Coberturas Verdes	27
CAPÍTULO 3 - CASO DE ESTUDO	31
3.1. Metodologia	31
3.1.1. LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO	31

3.1.2. CÉLULA-DE-TESTE: MATERIAIS E CONSTRUÇÃO	32
3.2. Sistema de aquisição de dados	35
3.3. Cobertura Verde e Cobertura Tradicional	44
3.4. Monitorização	45
3.4.1. TEMPERATURA	47
3.4.2. CONDUTIVIDADE TÉRMICA	48
3.4.3. PLUVIOSIDADE E HUMIDADE	50
3.4.4. RADIAÇÃO	51
3.4.5. FLUXO DE CALOR	52
CAPÍTULO 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
BIBLIOGRAFIA	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Jardins Suspensos da Babilónia (Fonte: (Darby, 2010))	3
Figura 2.2 Cobertura verde na Escandinávia (Fonte: (Lara, 2011)).....	3
Figura 2.3 Exemplificação da atuação das coberturas verdes na gestão de águas pluviais (Fonte: (ZinCo, 2011))	5
Figura 2.4 Exemplo de cobertura verde intensiva (Fonte: (Coberturas Verdes, 2011))	7
Figura 2.5 Exemplo de cobertura verde intensiva (Fonte: (The city of windsor, 2011)).....	8
Figura 2.6 Diferentes camadas de cobertura verde (Fonte: (Lusocuanza, 2011))	9
Figura 2.7 Aplicação de impermeabilização tradicional, tela betuminosa (Fonte: (Viapol))	10
Figura 2.8 Impermeabilização não tradicional, espumas de poliuretano (Fonte: (POLIURETANOS S.A.))	11
Figura 2.9 Tela de drenagem (Fonte: (Zinco, 2011))	13
Figura 2.10 Mistura de <i>sedums</i> (Fonte: (Emory Knoll Farms, Inc., 2011))	17
Figura 2.11 Exemplos de plantas utilizadas em coberturas verdes intensivas: (A) coníferas, (B) arbusto	17
Figura 2.12 Jardim de produção de ervas do Hotel <i>Fairmount</i> (Fonte: (M.Arch., 2005)).....	20
Figura 2.13 Representação do efeito ilha de calor urbano (Adaptado de: (SAND-RIO, 2007))	21
Figura 2.14 Fases de implementação de políticas e programas coberturas verdes	26
Figura 2.15 Produção de alimentos na cobertura do Hotel Bell, Book, and Candle (Fonte: (Ampla, 2011))	28
Figura 2.16 Cobertura a parede verde do Museu Quai Branly (Fonte: (Ampla, 2010)).....	28
Figura 2.17 Museu Caixa Forum, Madrid (Fonte: (Ampla, 2011)).....	28
Figura 2.18 Universidade Tecnológica de Nanyang (Fonte: (Wordpress, 2010)).....	29
Figura 2.19 Cobertura verde da Ford, fábrica de River Rouge (Fonte: (Green Roofs For Helthy Cities, 2007))	29
Figura 3.1 Localização da "célula-de-teste"	32
Figura 3.2 Posição do Sol no Verão e Inverno (Fonte: (Lanham, <i>et al.</i> , 2004))	32
Figura 3.3 Esquema da "célula-de-teste"	33
Figura 3.4 Face virada a SR.....	34
Figura 3.5 Face virada a NR	34
Figura 3.6 Esquematização da "célula-de-teste" e dimensões	35
Figura 3.7 Esquematização de modo de funcionamento de sistema aquisição de dados.....	36
Figura 3.8 Sondas Pt 100 3F	36
Figura 3.9 Ligação de três fios em sondas Pt100	36
Figura 3.10 Sonda de humidade HD 9008 TR: (A) Sonda, (B) Suporte de proteção	37
Figura 3.11 Sonda de medição de temperatura e humidade interior	38
Figura 3.12 Piranómetro LP PYRA 03	39
Figura 3.13 Anemómetro 3R420020-KIT A	40
Figura 3.14 Módulos recetores da informação proveniente das sondas.....	41
Figura 3.15 Esquema de ligações entre módulos recetores e instrumentos de monitorização: linhas verdes são os fios amarelos, linha laranja é fio branco, restantes cores correspondem às cores reais dos fios	43
Figura 3.16 Cobertura verde a instalar (Fonte: (GreenSpec, 2010)).....	45
Figura 3.17 Display de funcionamento da aplicação.....	46
Figura 3.18 Exemplo de visualização gráfica em tempo real dos registos das sondas Pt100 3F	46

Figura 3.19 Leituras instantâneas de alguns sensores de monitorização: (A) humidade interior, (B) humidade exterior, (C) radiação solar na horizontal e (D) velocidade do vento	48
Figura 3.20 Intervalo de condutividade térmica de vários materiais (Fonte: (Özisik, 1990))	49
Figura 3.21 Efeito da temperatura na condutividade térmica (Fonte: (Özisik, 1990))	50
Figura 3.22 Condução de calor através de uma placa (Fonte: (Özisik, 1990))	53
Figura 3.23 Transferência de calor por convecção de uma parede quente para um fluido frio (Fonte: (Özisik, 1990))	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Vantagens e desvantagens dos sistemas de cobertura verde [Fonte: Adaptado de (Peck, <i>et al.</i>)]	8
Tabela 2.2 Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço (Fonte: (José Grácio, 2006))	10
Tabela 2.3 Características de alguns materiais utilizados na camada de drenagem (Fonte: (Lopes, 2002))	12
Tabela 2.4 Identificação de algumas espécies de plantas segundo o tipo de vegetação (Fonte: (Fernandes, <i>et al.</i> , 2003))	18
Tabela 2.5 Jurisdições que serviram de elaboração (Adaptado de (Lawlor, <i>et al.</i> , 2006))	24
Tabela 2.6 Principais motivadores que serviram de base à criação das legislações.....	25
Tabela 3.1 Características das Sondas Pt100 3F	36
Tabela 3.2 Características da Sonda HD 9008 TR.....	37
Tabela 3.3 Características operacionais de sonda de temperatura e humidade interior.....	39
Tabela 3.4 Características do Piranómetro LP PYRA 03	40
Tabela 3.5 Características Anemómetro 3R420020-KIT A	40
Tabela 3.6 Módulos recetores.....	42
Tabela 3.7 Características da cobertura.....	45
Tabela 3.8 Coeficientes de transferência de calor por convecção livre ou natural (Adaptado de: (Özisik, 1990)).....	54
Tabela 3.9 Coeficientes de transferência de calor por convecção forçada (Adaptado de: (Özisik, 1990))	55

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Área (m^2)

h – Coeficiente de transferência de calor ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$)

k – Condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)

L – Espessura (m)

NR – Norte Real

Q – Calor transferido (W)

q – Fluxo de calor (W m^{-2})

SI – Sistema Internacional

SR – Sul Real

T – Temperatura (K ou $^{\circ}\text{C}$)

U – Velocidade de escoamento (m s^{-1})

ΔT – Intervalo de temperatura (K ou $^{\circ}\text{C}$)

Δt – Intervalo de tempo (s)

Índices

f – fluido

w – parede

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O rápido crescimento das populações mundiais e a “migração” para as grandes cidades, em busca de mais e melhores oportunidades de vida, tem-se traduzido numa elevada taxa de ocupação e expansão dos meios urbanos. Como consequência desta ação verifica-se um grande crescimento dos centros urbanos em planos verticais e horizontais, transformando os espaços verdes em grandes blocos de betão.

Resultante do grande crescimento demográfico e da temática das alterações climáticas surgiu o conceito de construção sustentável. Este conceito traduziu-se na imposição, por parte de governantes, projetistas, arquitetos ou até de “simples” indivíduos mais atentos às questões ecológicas, de projetos mais alternativos e de uma mentalidade mais consciente sobre as alterações climáticas. Essa consciencialização visa mentalizar as populações para a redução do consumo excessivo de recursos naturais e produção de resíduos daí resultantes. Subentende-se como resíduo, todo o produto que um indivíduo se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer (Matos, 2009).

A adoção de filosofias de construção sustentável, é um fator chave para que se atinga o equilíbrio adequado entre uma superfície com vegetação numa cidade e a área da região onde é implantada. Desta forma, a construção sustentável encontra-se entre as recomendações da União Europeia, como é o caso por exemplo da *“European Union Thematic Strategy on the Urban Environment”* (Fioretti, et al., 2010).

Como resultado das aplicações de formas de construção sustentável tem-se observado um crescente interesse pelos benefícios das coberturas verdes (*green roofs*), caracterizadas pelo revestimento das coberturas através de vegetação e por oferecer uma forma natural de mitigar o impacto provocado pela urbanização e densidade populacional. Embora em Portugal, a utilização das coberturas verdes ainda seja uma forma de construção sustentável, noutros países a construção deste tipo de coberturas e o estudo dos benefícios das mesmas já são estudados há algumas décadas. Desta forma, as coberturas verdes passaram a ser associadas a termos como redução do efeito de ilha de calor urbano, gestão de escoamento de águas superficiais, melhor qualidade do ar atmosférico nas cidades e aumento da diversidade de espécies em meio urbano, todos estes considerados como benefícios da utilização das coberturas verdes.

1.2. OBJETIVOS

O principal objetivo desta dissertação é a montagem de um laboratório que servirá de suporte ao estudo experimental de coberturas verdes em edifícios, tentando reproduzir situações

reais. Para que o laboratório seja completo e capaz produzir o efeito pretendido, outros objetivos, não menos importantes, foram traçados, nomeadamente a montagem de um sistema de aquisição de dados e consequente indicação dos parâmetros a monitorizar e a escolha do tipo de cobertura verde a implementar.

1.3. METODOLOGIA

Tendo em conta os objetivos propostos para o presente trabalho, e com vista ao seu alcance a metodologia utilizada contempla três fases essenciais. Numa primeira fase procedeu-se à revisão bibliográfica de todo o tipo de informação sobre coberturas verdes fundamental ao estudo e implementação de coberturas verdes.

Posteriormente procedeu-se ao planeamento e montagem do laboratório experimental para estudo de coberturas verdes, consistindo este mesmo numa “célula-de-teste” à escala laboratorial que contempla um compartimento de controlo (divisão com cobertura tradicional), um compartimento de teste (cobertura verde). A fim de se montar também um sistema de aquisição de dados adequado ao estudo das coberturas verdes foi importante definir os parâmetros inerentes a este mesmo estudo e por conseguinte efetuar a montagem desse mesmo sistema de monitorização. Por último e para terminar, fez-se uma pequena reflexão sobre possíveis considerações finais e propostas de trabalho futuro.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se organizado em quatro capítulos, sendo o Capítulo 1 uma introdução, em que se efetua um breve enquadramento ao tema das coberturas verdes, além da definição dos objetivos da dissertação e metodologia seguida para que sejam atingidos. No Capítulo 2, é feita uma descrição das coberturas verdes, sendo apresentada uma breve história sobre este tipo de coberturas e respetiva metodologia de construção, bem como as vantagens e limitações na sua utilização.

No Capítulo 3, é abordado o caso de estudo do trabalho, pelo que numa fase inicial são apresentados os materiais e constituição da “célula-de-teste” sendo posteriormente apresentados os instrumentos de monitorização e as correspondentes características principais, assim como dos dois sistemas de cobertura instalados, nomeadamente a cobertura verde e a cobertura tradicional. No final deste capítulo, é ainda apresentada uma breve descrição dos parâmetros a monitorizar, com identificação dos pontos sugeridos para ser medidos. Por último, o Capítulo 4 diz respeito às considerações finais e propostas de trabalhos futuros, de forma a dar seguimento ao presente estudo.

Capítulo 2 - COBERTURAS VERDES

2.1. BREVE HISTÓRIA

As primeiras documentações sobre coberturas verdes fazem alusão aos jardins suspensos da Babilónia (v. Figura 2.1), atualmente Síria, classificados como a segunda Maravilha do Mundo Antigo. Estas construções foram efetuadas durante o século VII antes de Cristo pelas civilizações que rodeavam os rios Tigre e Eufrates (Monteiro, 2010).



Figura 2.1 Jardins Suspensos da Babilónia (Fonte: (Darby, 2010))

Posteriormente aos jardins da Babilónia foram construídas várias coberturas verdes por parte de algumas civilizações. Por exemplo, os Romanos construíram uma cobertura do género no mausoléu de Augusto, e os vikings e os franceses adaptaram-nas e construíram as coberturas verdes canadianas (v. Figura 2.2) na Nova Escócia e Newfoundland (Peck, *et al.*, 1999).



Figura 2.2 Cobertura verde na Escandinávia (Fonte: (Lara, 2011))

Depois dos vikings e colonos franceses adotarem as coberturas verdes, estas passaram a ser construídas um pouco por todo o mundo, com maior crescimento no último século. Por volta de 1920 vários arquitetos, nomeadamente Le Corbusier e Frank Lloyd Wright, começaram a projetar coberturas verdes para edifícios mais extravagantes (Peck, *et al.*, 1999). Em meados do século XX o uso de coberturas verdes era observado em alguns países da Europa, tais como Suíça, Áustria e Alemanha.

Mais recentemente, a partir dos anos 70, foram realizados diversos estudos sobre as coberturas verdes, estando no ponto de partida um estudo apresentado por Reinhard Bornkamm, na Universidade de Berlim, em 1961 (Cathy, 2009). Na Alemanha a partir dessa data o desenvolvimento nos estudos sobre o tema foi grande. Desta forma, e graças à aplicação de legislação e subsídios de incentivo à utilização de coberturas verdes, o nível de mercado e construção das coberturas verdes aumentaram significativamente.

Entre os anos 1989 e 1996, na Alemanha, verificou-se um acréscimo anual da área de coberturas verdes a rondar os 15 e 20%, correspondentes ao aumento de 1 para 10 milhões de m² de coberturas verdes (Peck, *et al.*, 1999). Atualmente, a utilização de coberturas verdes é vista por muitos como uma ótima oportunidade para a gestão saudável do ambiente caso planeamento seja efetuado corretamente. As coberturas verdes também são consideradas com vista à mitigação dos efeitos nocivos da radiação na estrutura do telhado e como retardante em caso de incêndio (Oberndorfer, *et al.*, 2007).

2.2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA

As coberturas verdes consistem na aplicação de diversos tipos de materiais, destacando-se como principal constituinte a camada de vegetação, sobre as coberturas de edifícios destinados ou não a habitação. A utilização de coberturas verdes permite tirar partido de várias vantagens oferecidas pelo sistema, nomeadamente a nível arquitetónico, estético ou até mesmo ambiental. A aplicação de uma camada de vegetação em coberturas ou fachadas é uma das mais atuais e inovadoras práticas da horticultura e de disciplinas que se interessam por temas como eficiência energética e impacto ambiental provocado pelos edifícios (por exemplo arquitetura paisagística e engenharia civil), principalmente nos grandes centros.

O estudo das coberturas verdes, com vista à fundamentação dos benefícios e desvantagens da utilização das mesmas, são realizados tendo como principal objetivo concluir acerca da ligação a questões ambientais e energéticas. Os benefícios são normalmente associados à redução do efeito de ilha de calor urbano, isto é, amenização do aumento das temperaturas nos centros urbanos, da qualidade do ar atmosférico, aumento da biodiversidade e escoamento de águas pluviais. Por outro lado, as desvantagens prendem-se, principalmente, com a forma como as coberturas são construídas, se a impermeabilização é adequada e a possibilidade da cobertura se deixar invadir pelas ervas daninhas.

Por esta razão, é importante que a confeção dos telhados verdes seja mais cuidada e obedeça a vários princípios tecnológicos, ou seja, ser composta por várias camadas de materiais de forma que as suas funções se completem e se consiga um sistema em equilíbrio. Assim, é compreensível que o uso de plantas nas coberturas e fachadas atualmente seja diferente do uso em períodos mais antigos. Esta diferença explica-se então pela utilização de novas técnicas e materiais resultantes dos *upgrades* estimulados pelas conclusões retiradas de estudos efetuados.

Assim, a fim de destacar os *upgrades* efetuados aos sistemas e materiais utilizados, atualmente, na construção de coberturas verdes é impreterível falar na substituição dos vasos e floreiras convencionais ou da terra vegetal pelos substratos técnicos. Além do atualização do substrato destaca-se também a implementação dos sistemas de rega como forma de melhorar o funcionamento de toda a cobertura.

2.3. JUSTIFICAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE COBERTURAS VERDES

A utilização de uma cobertura verde, por si só, torna a natureza visual mais atraente, no entanto, também traz benefícios ecológicos e económicos quando construídas corretamente. Desta forma, pode dizer-se que as coberturas verdes têm benefícios para a melhoria da qualidade do ar, pelo que ajudam a filtrar a entrada de poeira e partículas de *smog* nos centros urbanos. Outro benefício da utilização das coberturas verde tem a ver com o facto de serem consideradas também como isoladores naturais do som. As coberturas verdes são capazes de reduzir a reflexão do som em 3dB e melhorar o isolamento do mesmo em 8dB, sendo muito propícias em zonas próximas de aeroportos e indústrias (ZinCo, 2011). No que respeita ao escoamento das águas superficiais (v. Figura 2.3), a utilização das coberturas verdes revela que é possível reter entre 50 e 90% das águas pluviais e atrasar o escoamento dessas (ZinCo, 2011).



Figura 2.3 Exemplificação da atuação das coberturas verdes na gestão de águas pluviais (Fonte: (ZinCo, 2011))

A redução dos custos energéticos resultantes da utilização de coberturas verdes advém, principalmente, da diminuição do uso de ar condicionado e da introdução de uma membrana de isolamento térmico, evitando a constante utilização de sistemas de ar-condicionado. Contudo, quando se fala das reduções de custos resultantes do uso das coberturas verdes, conclui-se que também são associados aos custos resultantes da renovação da estrutura da cobertura.

A utilização de uma cobertura verde permite a diminuição das elevadas temperaturas, sentidas na estrutura da cobertura (de 80 para 35°C), e radiação dos raios UV que atingem a cobertura (ZinCo, 2011). Os benefícios acarretados pelas coberturas verdes não têm a ver apenas com as questões ambientais, mas também com questões de bem-estar humano. Para esse bem-estar contribui principalmente a variedade de usos que se podem dar a uma cobertura verde, dependendo é claro do tipo de cobertura verde construída. Desta forma, sem que sejam necessários investimentos extra muito significativos, as coberturas verdes podem ser utilizadas como parque infantil ou mesmo com um campo de golfe.

2.4. TIPOS DE COBERTURAS VERDES

De forma a conseguir-se tirar o máximo proveito das áreas ajardinadas nas coberturas dos edifícios, e tendo em conta fatores como a manutenção das coberturas e a carga adicional, que terá de ser suportada pela estrutura do edifício, surgiram dois conceitos de coberturas verdes, intensivas e extensivas. Nas secções 2.4.1 e 2.4.2 são abordadas as principais características de cada um dos tipos de coberturas verdes, intensivas e extensivas, e na secção 2.4.3 identificadas de forma comparativa as vantagens e desvantagens referentes a cada tipo de cobertura verde.

2.4.1. COBERTURAS VERDES INTENSIVAS

As coberturas verdes intensivas (v. Figura 2.4) são, geralmente, criadas para que as populações as possam utilizar da mesma forma que usam os jardins convencionais, situados na base de um edifício, sendo por isso as plantas colocadas individualmente. Embora as coberturas intensivas sejam preparadas para possibilitar o acesso das pessoas, normalmente não lhe é dado uso, sendo então apenas observadas do interior do edifício.



Figura 2.4 Exemplo de cobertura verde intensiva (Fonte: (Coberturas Verdes, 2011))

Nas coberturas verdes, muito devido à vegetação utilizada (plantas de maior porte), a profundidade de substrato a utilizar acarreta uma espessura mínima de 0,15 m, embora seja já muito inferior à espessura da camada de substrato utilizada aquando das primeiras utilizações de coberturas verdes (Neoturf, 2011). A redução de espessura verificada desde então surge na tentativa de minimizar a carga sobre a estrutura do edifício até um valor aceitável. Quando se fala de valor aceitável é necessário referir-se a este como a espessura mínima que permita o desenvolvimento da vegetação e ao mesmo tempo reduzir os custos de instalação. Como exemplos de vegetação utilizada em coberturas verdes intensivas fala-se dos arbustos e coníferas.

2.4.2. COBERTURAS VERDES EXTENSIVAS

As coberturas verdes extensivas (v. Figura 2.5), geralmente, não são construídas para uso regular humano, não estando sequer visíveis, e para necessitarem de elevada manutenção. Para o cumprir as características das coberturas extensivas são usadas plantas de baixo porte e espessuras de substrato entre 0,02 e 0,15 m (Neoturf, 2011). A baixa espessura de substrato utilizada em coberturas extensivas é favorável, principalmente, para diminuir a carga adicional à estrutura do edifício.

Embora se tenha em consideração o intervalo aconselhável para a espessura de substrato de uma cobertura verde extensiva, não existe nenhum valor consensual entre os vários construtores e países onde são construídas. Por exemplo, na Alemanha a espessura mínima, de substrato, aconselhada é 0,06 m enquanto em Portugal é 0,08 m (Neoturf, 2011).



Figura 2.5 Exemplo de cobertura verde intensiva (Fonte: (The city of windsor, 2011))

Tendo em conta a pequena espessura de substrato e baixa manutenção, próprias das coberturas extensivas, são utilizadas plantas que formem pequenas raízes e capazes de regenerar e suportar as condições de telhado mais adversas, nomeadamente os ventos fortes, as temperaturas extremas, a falta de água e o elevado índice de radiação. Assim, a vegetação mais apta e capaz de sobreviver às condições apresentadas, são os *Sedums* e as plantas aromáticas (Monteiro, 2010).

2.4.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Da mesma forma que, cada tipo de coberturas verdes tem associadas características, também tem vantagens e desvantagens da utilização. Assim, e de acordo com a Tabela 2.1, o que se pode considerar vantagens das coberturas verdes do tipo intensivo podem ao mesmo tempo ser consideradas desvantagens de coberturas extensivas, e vice-versa.

Tabela 2.1 Vantagens e desvantagens dos sistemas de cobertura verde [Fonte: Adaptado de (Peck, *et al.*)]

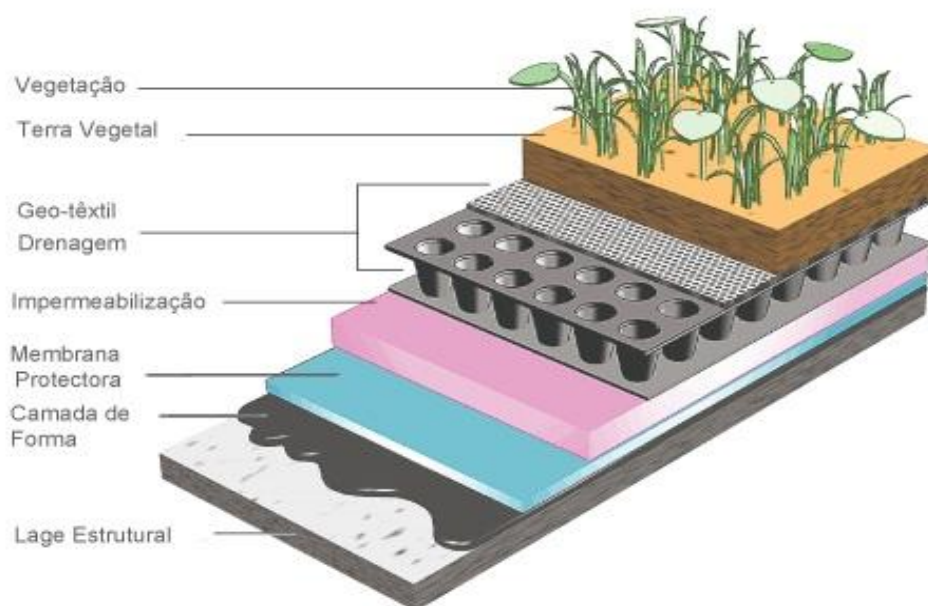
	Sistema extensivo	Sistema intensivo
Vantagens	Baixo peso	Maior diversidade de plantas e habitats
	Apropriado para grandes áreas	Boas propriedades de isolamento
	Conveniente para inclinações de 0 a 30°	Visualmente acessível com maior frequência
	Não requer sistema de irrigação	Pode ser muito atrativo
	Adequado para renovação de coberturas	Diversas utilizações coberturas (lazer, produção de alimentos)
	Permite desenvolvimento espontâneo da vegetação	Maior eficiência energética e capacidade de retenção de águas
	Custo de instalação relativamente baixo	
	Mais fácil para obtenção da aprovação dos projetos	
	Baixo nível de manutenção e maior período de vida	

Tabela 2.1 Vantagens e desvantagens dos sistemas de cobertura verde [Fonte: Adaptado de (Peck, *et al.*)] (Cont.)

	Sistema extensivo	Sistema intensivo
Desvantagens	<p>Escolha mais limitada de plantas</p> <p>Pouco acessível para lazer e outros usos</p> <p>Não atrativo em algumas situações, principalmente no Inverno</p> <p>Menor eficiência e benefícios na retenção de águas pluviais</p>	<p>Maior carga estrutural na cobertura</p> <p>Necessidade de drenagem e irrigação</p> <p>Necessita de mais energia e água</p> <p>Exige sistemas mais complexos e mais perícia térmica</p> <p>Custos de manutenção superiores</p>

2.5. METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE COBERTURAS VERDES

A construção de coberturas verdes segue uma metodologia comum independentemente do tipo de cobertura verde, intensiva ou extensiva. Desta forma, as coberturas verdes são constituídas por várias camadas. Como em qualquer sistema de cobertura, qualquer camada tem agregada a função para a qual é concebida, de forma a desempenha-la da melhor maneira possível. Nas secções seguintes são aprofundadas as características e funcionalidades de cada uma das camadas constituintes das coberturas verdes (v. Figura 2.6).

**Figura 2.6** Diferentes camadas de cobertura verde (Fonte: (Lusocuanza, 2011))

2.5.1. MEMBRANA IMPERMEABILIZAÇÃO

Em qualquer tipo de cobertura, plana ou inclinada, ajardinada ou tradicional, a membrana de impermeabilização tem sempre um papel importante, devido à capacidade de estanquidade das

águas que advêm das camadas superiores. Desta forma, deve-se ter um cuidado especial durante a fase de construção, para evitar anomalias, que possam surgir, e manter intactas as características de estanquidade de águas por pelo menos 10 anos. Geralmente, a impermeabilização de uma cobertura é efetuada de duas formas, impermeabilização tradicional e impermeabilização não-tradicional (v. Tabela 2.2), que variam sobretudo no tipo de materiais e na forma como são aplicados.

Tabela 2.2 Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço (Fonte: (José Grácio, 2006))

Tipo de sistemas de impermeabilização	Tipo de aplicação	Materiais
Tradicionais	<i>“in-situ”</i>	Asfalto ou emulsões betuminosas (camadas múltiplas)
	Produtos pré-fabricados	Membranas, telas ou filtros betuminosos (camadas múltiplas)
Não tradicionais	<i>“in-situ”</i>	Resinas acrílicas ou poliméricas, emulsões de betumes modificados (Camadas múltiplas) e espumas de poliuretano
	Produtos pré-fabricados	Betumes modificados, termoplásticas, elastoméricas (membranas)

A impermeabilização tradicional de coberturas é caracterizada pela aplicação de asfaltos *“in situ”* ou de sistemas de múltiplas camadas com utilização de feltros ou telas betuminosas (v. Figura 2.7). Na década de 70, na Europa e Japão, a utilização de sistemas de impermeabilização tradicional, em múltiplas camadas, rondava 70% dos revestimentos de coberturas (Lopes, 2002).



Figura 2.7 Aplicação de impermeabilização tradicional, tela betuminosa (Fonte: (Viapol))

De outra forma, a impermeabilização através de sistemas não tradicionais destaca a utilização de camadas múltiplas *"in situ"*, de resinas (acrílicas ou poliméricas) e espumas de poliuretano (v. Figura 2.8), ou de produtos pré-fabricados, como as membranas de betumes ou termoplásticas (Monteiro, 2010).



Figura 2.8 Impermeabilização não tradicional, espumas de poliuretano (Fonte: (POLIURETANOS S.A.))

Durante a instalação da camada de impermeabilização numa obra é importante e indispensável ter um cuidado especial com os acabamentos, sobretudo, nas juntas de dilatação e nas ligações entre a estrutura da cobertura e das paredes. Os acabamentos da membrana de impermeabilização são importantes para que o funcionamento da mesma seja eficaz e não contribua para a degradação precoce da cobertura.

2.5.2. CAMADA DE DRENAGEM

As coberturas verdes têm um papel muito importante na gestão das águas superficiais, não só pela capacidade que têm de reter a água da chuva mas também pela capacidade que têm de a libertar, de forma lenta, de volta à atmosfera. Para que a gestão das águas pluviais seja efetuada de forma eficiente, é indispensável o contributo da camada de drenagem. Desta forma, a camada de drenagem tem uma função muito objetiva, visto ser a responsável pelo escoamento da água que flui através da camada de crescimento, embora também seja capaz de reter uma quantidade definida de água que posteriormente é recuperada pela vegetação e libertada por evapotranspiração (Lopes, 2002).

A eficiência da camada de drenagem, no funcionamento da cobertura verde, depende essencialmente dos materiais constituintes e da inclinação dada à cobertura. No que respeita à inclinação das coberturas são aconselháveis valores de declives ótimos entre 2 e 8%. Em casos em que a inclinação concedida à cobertura é inferior a 2%, é usual que se fale da colmatagem das vias de drenagem. Essa colmatagem poderá ocorrer por duas razões, deslocamento dos sedimentos do meio de cultura ou então, quando existem poças na cobertura, pela subida dos sedimentos e consequente entrada no sistema de drenagem (Fishburn, 2004).

Por outro lado, para inclinações iguais ou superiores a 8% (inclinações excessivas) é necessário implementar um sistema de retenção na cobertura para evitar que se deem quebras nas ligações e mesmo enrugamento das camadas. A utilização de um sistema de retenção deve ser projetado para que o peso seja alocado à carga adicional à estrutura do telhado (Fishburn, 2004).

Quanto aos materiais utilizados para a construção da camada de drenagem em coberturas verdes inicialmente eram utilizados dois tipos de materiais, os que tinham capacidade de reter e drenar a água e os que apenas tinham capacidade de drenar. No grupo de materiais que permitem armazenar e drenar a água são, normalmente, utilizados o xisto expandido e as placas cerâmicas nervudas. Por outro lado, os seixos e pedras roldadas e as placas nervudas de poliestireno expandido de densidade elevada são os exemplos de materiais, que apenas têm capacidade de drenagem da água, mais utilizados. É importante referir que em Portugal, os seixos e pedras roldadas são os materiais mais utilizados neste tipo de drenagem, embora também se considere o uso de argila expandida ou tijolo em substituição de placas cerâmicas nervudas (Lopes, 2002). A Tabela 2.3 identifica as principais características de alguns materiais utilizados na construção da camada de drenagem.

Tabela 2.3 Características de alguns materiais utilizados na camada de drenagem (Fonte: (Lopes, 2002))

Materiais	Características					
	Densidade (kg m ⁻³)	Granulometria (mm)	Absorção água (%)	Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (mm)
Argila expandida	430	10 a 20	40 a 50	-	-	-
Pozalona	850 820 a 830	10 a 20 20 a 50	8 a 17	-	-	-
Placas cerâmicas nervudas	600	-	-	400	250	35 a 40
Calhau rolado ou brita	1200 a 1700	15 a 30	-	-	-	-
Placas de poliestireno expandido	25 a 30	-	-	660	250	40 a 60

Dependendo do tipo de material constituinte da camada de drenagem é importante ter com consideração a granulometria e volume de vazios. Quando a camada é composta por materiais granulares, é desejável que esse volume de vazios seja o maior possível, daí que sejam utilizados materiais com granulometrias o mais uniformes possíveis (Lopes, 2002). A espessura da camada de drenagem também depende do material que a constitui. Desta forma, quando se utilizam

materiais granulares é aconselhável que a espessura ronde os 0,10 m, mas quando, a camada de substrato tem 0,80 m de espessura é favorável aumentar a espessura da drenagem para valores entre 0,15 e 0,25 m, e consequentemente aumentar o diâmetro da brita para 40 a 50 mm (Monteiro, 2010).

Atualmente, a camada de drenagem nas coberturas verdes é feita à base de materiais pré-fabricados como as telas *floradrain fd* (v. Figura 2.9). Este tipo de material caracteriza-se pelo baixo peso e capacidade de armazenamento de água, que o tornam favorável para a drenagem e retenção de água (Zinco, 2011).



Figura 2.9 Tela de drenagem (Fonte: (Zinco, 2011))

2.5.3. CAMADA DE PROTEÇÃO RAIZ

Inicialmente, os projetos de coberturas verdes não previam a utilização de uma camada de proteção contra raízes mas, após algumas experiências e como modo de proteção da estrutura dos edifícios e das restantes camadas constituintes da cobertura, começaram a ser utilizadas juntamente com a incorporação de materiais orgânicos à base de asfaltos (Fishburn, 2004). A função da camada de proteção é prevenir a perfuração das camadas de impermeabilização e drenagem, pelas raízes das plantas. Desta forma, consegue-se não só aumentar o tempo de vida destas membranas e da estrutura do telhado mas também evitar infiltrações.

Atualmente, as camadas de proteção de raízes, para vegetação de pequeno porte são feitas à base de uma camada betuminosa, contendo um produto anti-raiz à base de produtos químicos que afasta as raízes das membranas. O pentaclorofenol, pertencente ao grupo dos ésteres de ácidos gordos, por contar com uma grande eficácia enquanto repelente é o produto químico mais utilizado na formação da membrana anti-raiz (Lopes, 2004).

Nas coberturas verdes intensivas, em que geralmente se utiliza vegetação de grande porte e consequentemente tem raízes de maior dimensão, utiliza-se o confinamento para evitar as

perfurações das raízes das plantas. O confinamento, consiste em “inserir” as raízes das plantas em caixas de betão com a capacidade de impedir a expansão das mesmas e impedir a perfuração das camadas inferiores. Aquando da aplicação das membranas anti-raiz é aconselhável que se use mais de uma “folha” desta membrana de forma a aumentar o tempo de vida e o grau de eficiência.

2.5.4. CAMADA DE SUBSTRATO

Numa cobertura verde a camada de substrato ou crescimento, é a camada responsável pelo desenvolvimento da vegetação, e tem características particulares para cada tipo de cobertura. Na criação desta camada de substrato é indispensável uma associação da profundidade, necessária para se garantir o bom desenvolvimento das raízes das plantas, com o abastecimento de nutrientes e a relação água-ar (Heneine, 2008).

Como já foi referido anteriormente, os diferentes tipos de coberturas verdes diferem sobretudo no tipo e porte da vegetação que utilizam, podendo desta forma influenciar, não só, a espessura da camada de substrato, mas também a utilização das coberturas verdes em edifícios já existentes, devido à carga adicional para a estrutura. Numa cobertura do tipo extensivo, em que a vegetação utilizada é de pequeno porte, a camada de substrato tem espessura entre 0,05 e 0,15 m (Fishburn, 2004). Por outro lado, quando se fala de coberturas verdes intensivas, devido à vegetação de grande porte que é utilizada, utiliza-se uma espessura de camada de crescimento bastante maior que em coberturas extensivas, entre 0,20 e 0,60 m.

Como a camada de crescimento é a que tem maior espessura numa cobertura verde, pode-se afirmar então que é a camada que mais contribui para a carga adicional das coberturas verdes na estrutura do telhado. Desta forma, as coberturas extensivas aumentam a carga adicional à estrutura do edifício em 70 a 170 kg m⁻² e as intensivas contribuem com um valor entre 290 e 970 kg m⁻² (Fishburn, 2004).

Aquando da preparação da camada de substrato, na escolha dos melhores materiais, é importante ter em conta alguns critérios que poderão interferir no funcionamento da mesma, como o tamanho dos grãos, a proporção de material orgânico, a permeabilidade e capacidade de retenção da água, resistência à erosão do solo e satisfação de nutrientes (Heneine, 2008). Assim, visando a minimização dos problemas inerentes ao peso desta camada na estrutura do telhado de um edifício e não esquecendo as funcionalidades da mesma, recorre-se a uma mistura de terra vegetal com materiais mais leves, tais como:

- Produtos vegetais;
- Produtos minerais;
- Produtos orgânicos;
- Produtos derivados de petróleo;
- Materiais reciclados.

A turfa, por exemplo, pela capacidade de retenção de água no solo é o material vegetal mais utilizado. Como exemplos de materiais minerais geralmente usam-se minerais argilosos e materiais com origem vulcânica. Desta feita, como exemplos de materiais de origem vulcânica destaca-se a pedra-pomes, usada essencialmente pelo baixo peso. Pertencente ao grupo dos minerais argilosos é usual utilizarem-se minerais obtidos a partir da pirofilita, materiais granulares e com elevado teor de porosidade, cujas partículas podem ter dimensões entre 0,5 e 2 mm e elevada capacidade de absorção. A areia também é muito utilizada, devido à elevada porosidade que permite que a água seja escoada facilmente por gravidade. No entanto, devido à baixa capacidade de retenção de nutrientes, quando é utilizada juntamente com terra vegetal implica que se faça a adubação durante todo o período de vida.

O grupo de produtos orgânicos, como resinas orgânicas produzidas através de ureia e formaldeído, são utilizados numa mistura com a terra vegetal sob a forma de grânulos. Estes materiais têm dimensões entre 1 e 20 mm e elevada capacidade de retenção de água. Com o decorrer do tempo e devido à decomposição das resinas é libertado algum azoto, posteriormente é consumido pelas raízes das plantas.

Existem casos em que se utilizam os resíduos de construção e demolição, pertencentes ao grupo dos materiais reciclados, como blocos cerâmicos contendo ou não argamassas. Devido à limitada reserva de nutrientes, a associação deste tipo de materiais com terra vegetal impede a proliferação das espécies vegetais, prezando dessa a lei da seleção natural de Charles Darwin. Posto isto, o objetivo da camada de crescimento é acautelar uma eficaz absorção e retenção de água, de forma a fornecê-la posteriormente à vegetação para auxiliar o seu crescimento, mas também ter efeitos benéficos no que respeita à drenagem de águas pluviais em excesso.

2.5.5. CAMADA DE VEGETAÇÃO

A utilização de uma camada de vegetação nas coberturas de edifícios tem demonstrado, através de processos de transpiração e aumento da refletividade, uma melhoria no arrefecimento das habitações e espaços envolventes. Este efeito é observado, principalmente, nas regiões mais quentes e de baixa latitude, onde se verifica maior ângulo de incidência solar (Simmons, *et al.*, 2008). O efeito de sombra criado pelas folhas das plantas sobre o solo provocam a redução da radiação solar que atinge as camadas inferiores da cobertura verde e aumentam o tempo de vida dos telhados. Deste modo, e de acordo com a bibliografia estudada, o uso de uma camada de vegetação em coberturas demonstra que é possível atenuar alguns efeitos negativos dos edifícios e solos sobre os ecossistemas locais, nomeadamente redução do efeito de ilha de calor, diminuição de consumos energéticos, e reduções dos níveis de contaminantes, e consequente melhoria da qualidade do ar.

Alguns fatores como a seca, as temperaturas extremas, as altas velocidades de vento e radiação condicionam fortemente a vegetação de uma cobertura verde, podendo mesmo aumentar consideravelmente o risco de desidratação e danos físicos nas camadas de vegetação e

substrato de uma cobertura verde. Assim, de forma a combater as adversidades impostas pelas condições climáticas de algumas regiões é necessário que a seleção de plantas e correspondente cultivo seja realizado com alguma precaução. É importante que se consiga, por parte das plantas, uma rápida cobertura do solo para evitar a erosão do mesmos e o aparecimento de ervas daninhas, fatores muito importantes para a sobrevivência e saúde a longo prazo dos telhados verdes.

Visando a seleção da vegetação mais adequada para cada região, na Alemanha têm sido realizadas diversas pesquisas nesse sentido, no entanto os resultados obtidos não devem ser aplicados da mesma forma em todas as regiões, correndo-se o risco de a vegetação não ser a mais indicada para dada região e não produzir o efeito desejado (Getter, *et al.*, 2008). Embora já existam vários estudos sobre a vegetação, grande parte resume-se apenas à procura de resultados sobre a sobrevivência das plantas às tensões ambientais, contudo o estudo de Monterusso *et al.* (2004) analisou a interferência de quatro sistemas comerciais de coberturas verdes no desempenho hidrológico.

As conclusões dos diversos estudos não diferem muito, tanto no que diz respeito às plantas mais apropriadas para cada tipo de cobertura verde, como para cada região e clima estudado. As coberturas verdes extensivas utilizam vegetação rasteira e que forme raízes na “horizontal” para possibilitar a utilização de menor espessura de substrato. Assim, é dada preferência a plantas com razoável resistência à seca, e que consigam armazenar maiores quantidades de água nas folhas em períodos de reduzida precipitação e assim evitar o uso de sistemas de irrigação e grandes manutenções.

Na Figura 2.10 é apresentada uma mistura de *sedums*, geralmente utilizada como vegetação de uma cobertura verde extensiva. As gramíneas e musgos são outro tipo de plantas utilizadas em coberturas verdes extensivas.



Figura 2.10 Mistura de *sedums* (Fonte: (Emory Knoll Farms, Inc., 2011))

A espécie *Sedum*, devido à resistência à seca e facilidade que tem em crescer e desenvolver, oferecendo uma boa cobertura da membrana do telhado, é a espécie mais utilizada em coberturas verdes extensivas (Castleton, *et al.*, 2010). Por outro lado, as coberturas verdes intensivas, cujas características se assemelham aos jardins na base de edifícios, utilizam vegetação de maior porte, como por exemplo coníferas e arbustos (v. Figura 2.11).



Figura 2.11 Exemplos de plantas utilizadas em coberturas verdes intensivas: (A) coníferas, (B) arbusto

De acordo com alguma bibliografia como forma de combate às condições de seca, a utilização de uma mistura de várias plantas em relação a uma monocultura é mais vantajosa. A afirmação é explicada pela relação positiva entre a riqueza de espécies e o funcionamento dos ecossistemas (Nagase, *et al.*, 2010). A Tabela 2.4 apresenta uma divisão de várias plantas ao tipo de cobertura a que se mostram mais adaptadas.

Tabela 2.4 Identificação de algumas espécies de plantas segundo o tipo de vegetação (Fonte: (Fernandes, *et al.*, 2003))

	Nome Comum	Cobertura Verde Extensiva	Cobertura Verde Intensiva
<i>Allium schoenoprasum</i>	Cebola-galega	✓	
<i>Arbustus unedo</i>	Medronheiro		✓
<i>Armeria humilis</i>	Arméria	✓	
<i>Betula</i>	Vidoeiro		✓
<i>Buxus sempervirens</i>	Buxeira ou Buxo		✓
<i>Chaenomeles japónica</i>	Marmeleiro do japon		✓
<i>Cordyline australis</i>	Fiteira		✓
<i>Crambe hispânica</i>	Couve-bastarda		✓
<i>Cytisus</i>	Giesta		✓
<i>Juniperus thurifera</i>	Sabina-turfeira		✓
<i>Kerria japonica</i>	Roseira do japon		✓
<i>Picea pungens</i>	Píce-a-azul		✓
<i>Pinus mugo</i>	Pinheiro montanhês		✓
<i>Pittosporum</i>	Pitosporo		✓
<i>Prunus laurocerasus</i>	Loureiro-real		✓
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim	✓	
<i>album</i>	Arroz-dos-telhados	✓	
<i>ellacombianum</i>		✓	
<i>hybridum</i>		✓	
<i>kamtschaticum</i>		✓	
<i>middendorffianum</i>		✓	
<i>reflexum 'Blue'</i>		✓	
<i>rupestre 'Angelina'</i>		✓	
<i>sexangulare</i>		✓	
<i>spurium</i>		✓	
<i>ternatum</i>		✓	
<i>Talinum paniculatum</i>	Beldroega-miúda	✓	
<i>Yucca gloriosa</i>	Palmeira lírio		✓

Apesar de na Tabela 2.4 ser apresentada uma divisão das plantas segundo o tipo de cobertura verde a que mais se adequam, é importante realçar que todas as plantas aptas para as coberturas verdes extensivas também podem ser utilizadas em coberturas intensivas, pois essas coberturas têm uma espessura de substrato mais que suficiente para albergar essa vegetação, caracterizada em parte pelo pequeno crescimento das raízes. Analogamente, as plantas utilizadas em coberturas verdes intensivas não são aconselhadas para as coberturas extensivas, devido à elevada espessura de substrato que necessitam, e que as coberturas extensivas não suportam.

2.6. VANTAGENS DA APLICAÇÃO DE COBERTURAS VERDES

A utilização das coberturas verdes enquanto forma de construção sustentável tem inúmeros benefícios, classificados em três grandes grupos:

- Vantagens de conforto e estética;
- Vantagens ambientais;
- Vantagens económicas.

Alguns desses benefícios, associados às coberturas verdes, são observáveis apenas quando aplicadas em larga escala (por exemplo em bairros inteiros), mas existem outros que se fazem sentir diretamente no edifício onde são aplicadas.

2.6.1. VANTAGENS DE CONFORTO E ESTÉTICA

As coberturas verdes, por vezes, são projetadas para servirem de espaços recreativos e de lazer em zonas urbanas onde não existem muitos locais disponíveis para albergar espaços verdes ao nível do solo. A utilização deste tipo de coberturas, enquanto espaços recreativos e de lazer, têm a vantagem de aumentar a privacidade de quem as utiliza e limitar o acesso, e consequentemente aumentar os níveis de segurança.

Outro ponto em que as coberturas verdes têm demonstrado ser benéficas, prende-se com o facto de poderem ser utilizadas como espaços para a produção de alimentos. A produção de alimentos em coberturas verdes ganha força quando se questiona a qualidade e proveniência dos mesmos. Embora pareça algo estranho, em alguns países, nomeadamente Haiti, Colômbia, Tailândia e Rússia, as varandas e coberturas dos edifícios começaram a ser utilizadas para a produção de vegetais, frutos e até orquídeas quando se questionaram sobre fatores como consumos energéticos e poluição causada pelo transporte de longas distâncias inerentes à produção dos mesmos (Neoturf, 2011).

O Hotel *Fairmount*, localizado em *Vancouver*, Canadá, é um dos melhores exemplos de produção de alimentos em coberturas (v. Figura 2.12), pois produz todas as ervas consumidas na cozinha do hotel.



Figura 2.12 Jardim de produção de ervas do Hotel *Fairmount* (Fonte: (M.Arch., 2005))

A nível estético, a utilização de coberturas verdes em detrimento das habituais coberturas tradicionais, em que se troca o asfalto e telhas cerâmicas pelas paisagens naturais, transmite uma sensação de conforto pouco vulgar para a generalidade da população urbana. Estes benefícios são sentidos tanto pela ação das coberturas verdes a que se tem acesso como as que são apenas observáveis.

2.6.2. VANTAGENS AMBIENTAIS

As coberturas verdes extensivas, quando projetadas para áreas de reduzida acessibilidade constituem um habitat imperturbável para plantas, insetos e pássaros. A reduzida acessibilidade por parte das populações, associada ao facto da camada de crescimento ser composta na sua maioria por inertes (material pobre em nutrientes) são um fator preponderante no que diz respeito à proliferação de espécies dominantes. Por esta razão, as coberturas verdes contribuem para o aumento da biodiversidade (Neoturf, 2011).

A redução dos espaços verdes e aumento das zonas de impermeabilização do solo, derivadas da elevada construção urbana, que se fez sentir durante anos, obrigou a que cerca de 75% das águas da chuva fossem conduzidas para os rios e mares arrastando todo o tupo de poluentes e resíduos que apareçam durante o trajeto (Neoturf, 2011). Desta forma, com a utilização de coberturas verdes pretende-se minimizar as consequências das águas pluviais sobre os cursos aquáticos, pelo que parte da água fica retida na cobertura verde (camada de substrato e drenagem) e posteriormente é libertada ou consumida pela vegetação.

Quando se fala das melhorias da qualidade do ar por ação de uma cobertura verde, é sempre associada à absorção de metais pesados por ação da vegetação constituinte. A retenção de metais pesados nas coberturas verdes é associada principalmente à melhoria da qualidade do ar e melhoria das condições de saúde das pessoas, sobretudo doenças respiratórias. Estima-se que a percentagem de redução de cádmio, cobre e chumbo ronde os 95%, mais elevado que para a retenção de zinco, cerca de 16% (Peck, *et al.*, 1999).

A utilização de coberturas verdes em detrimento das coberturas tradicionais também mostra benefícios ao nível da redução do efeito de ilha de calor urbano. O efeito de ilha de calor é caracterizado pela diferença de temperaturas entre zonas urbanas e rurais, que como se observa na Figura 2.13, são bastante mais elevadas em áreas urbanas que rurais. As elevadas temperaturas sentidas nas áreas urbanas, comparativamente com as temperaturas em zonas rurais é devida à associação das grandes superfícies cobertas por asfaltos e betão, e elevado tráfego automóvel com a inexistência de espaços verdes, cuja vegetação contribui para a refrigeração do ar, retenção da humidade e evapotranspiração.

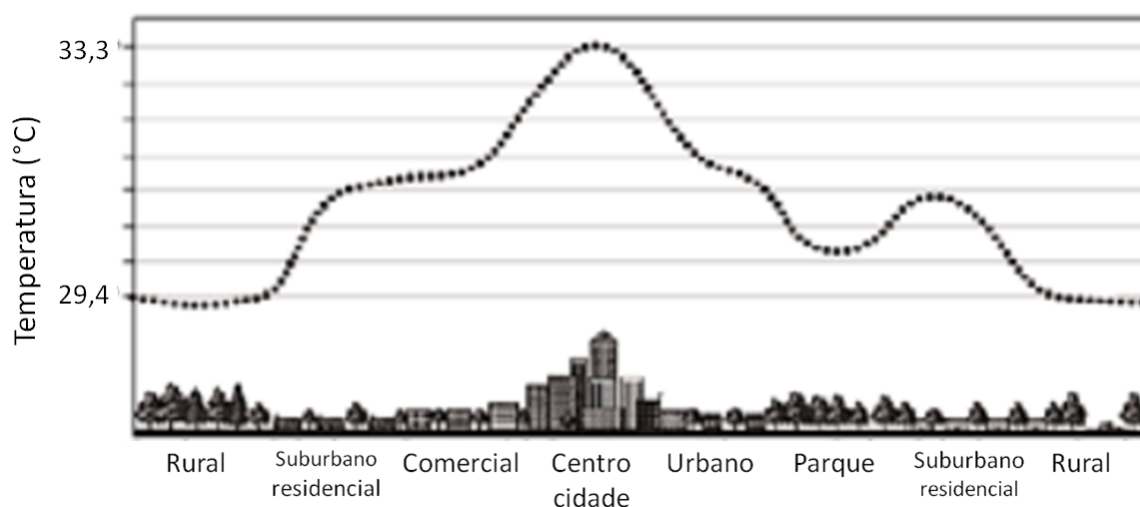


Figura 2.13 Representação do efeito ilha de calor urbano (Adaptado de: (SAND-RIO, 2007))

A fim de quantificar a redução do efeito de ilha de calor urbano, Bass et. al (2002) com o auxílio de um modelo matemático, conduziu um estudo que relaciona a influência das coberturas verdes no efeito de ilha de calor urbano na cidade de Toronto. Inicialmente, considerando que 50% dos edifícios da baixa da cidade tinham o sistema de cobertura verde implementado, verificou-se um decréscimo de 0,5°C na temperatura média da cidade, no entanto, quando associou a este estudo, a possibilidade de rega nos sistemas de cobertura de verde, o decréscimo da temperatura média ascendeu a 2 °C, fazendo-se sentir numa área mais abrangente da cidade. (Neoturf, 2011)

2.6.3. VANTAGENS ECONÓMICAS

Numa época em que tanto se fala de eficiência energética e reduções das despesas com aquecimento e arrefecimento, nada melhor que estudar o efeito das coberturas verdes para se concluir acerca da contribuição deste tipo de coberturas na redução dos consumos energéticos em edifícios. Com a utilização de uma cobertura verde, é possível alcançar temperaturas na

ordem dos 25 ou 30 °C, ao nível da estrutura do telhado, e no interior do edifício 3 ou 4 °C abaixo destes valores (Peck, *et al.*, 1999).

O verdadeiro sentido destes resultados observa-se, sobretudo, em climas onde o ar condicionado é indispensável para a manutenção de condições interiores mais agradáveis. Desta forma, por cada 0,5 °C que se reduza na temperatura interior de um edifício é possível diminuir em 8% o consumo energético para o resfriamento do espaço (Neoturf, 2011). Contudo, nas regiões mais frias também é verificável uma diminuição do consumo energético responsável pelo aquecimento.

Quando aplicadas sob os métodos corretos, as coberturas verdes aumentam o tempo de vida das membranas e cobertura dos edifícios. Por exemplo, em 2002 nos Estados Unidos, o tempo de vida de uma cobertura tradicional era de 15 a 50 anos e para uma cobertura verde 50 a 100 anos (Neoturf, 2011). Resultante do elevado tempo de vida de uma cobertura verde, e do facto de se reduzir o isolamento necessário na cobertura do edifício os custos de construção e utilização de uma cobertura verde serão mais baixos que os custos de construção de uma cobertura tradicional.

Apresentando o caso prático de um estudo realizado em Toronto, Canadá, considerando-se que apenas 6% das coberturas da cidade seriam verdes (representando 1% da área total: cerca de 6 milhões de metros quadrados) verifica-se que a implementação de uma cobertura com 0,15 m de espessura, com uma fina camada de relva ou prado, traria inúmeros benefícios (Neoturf, 2011), nomeadamente:

- Postos de trabalho diretos e indiretos: 1350 postos de trabalho anos/ano;
- Redução no efeito de ilha de calor da cidade de 1 a 2 °C;
- Redução da emissão de gases de efeito de estufa por parte dos edifícios: 1,56 Mton;
- Redução das ocorrências de episódios graves de smog: 5 a 10%;
- Quantidade de partículas capturadas/retidas pelas plantas: 29,5 ton ano⁻¹;
- Retenção de águas da chuva: 3,6 Mm³ ano⁻¹ (o custo para construir reservatórios com essa capacidade seria de 60 milhões de dólares);
- Produção de alimentos assumindo 10% de utilização da área das coberturas: 4,7 kton ano⁻¹;
- Poupança anual de energia: 1 milhão de dólares por ano;
- Área potencial para recreio ativo e de uso público e privado: 650 000 m².

2.7. APLICAÇÕES E LIMITAÇÕES

Geralmente, quando se fala em coberturas verdes, é normal que se evidenciem instantaneamente as vantagens resultantes da construção, e apenas posteriormente se abordem as desvantagens ou limitações. A falta de estudos e informação, em alguns países onde só recentemente começam a ser dados os primeiros passos nas coberturas verdes, levanta muito a

questão do dimensionamento da estrutura do telhado associada à carga adicional a que vai ser submetida.

Quando os edifícios são projetados para sustentarem uma cobertura verde, a estrutura do edifício é pensada para suportar cargas adicionais de 70 a 170 kg m⁻², para coberturas verdes extensivas, e 290 a 970 kg m⁻², para coberturas intensivas. No caso de edifícios já existentes, dependendo do tipo de cobertura verde a instalar e do uso que se pretende dar ao local poderá ser necessário um reforço da estrutura do edifício, para ser capaz de aguentar as cargas adicionais. Deste modo, o reforço estrutural do edifício é considerado uma limitação ao uso das coberturas verdes, principalmente, pelos custos acarretados pela preparação da estrutura e implementação da cobertura.

Outra limitação da utilização de coberturas verdes é a inclinação dos telhados dos edifícios, com valores aconselháveis entre 2 e 8%. Em casos em que a inclinação da cobertura é inferior a 2% podem acontecer situações de colmatagem das vias de drenagem, ou por deslocação dos sedimentos do meio de cultura ou pela subida dos sedimentos (quando existem poças, após os períodos de precipitação) e consequente entrada no sistema de drenagem. Quando a inclinação ultrapassar os 8% é necessário a implementação de um sistema de retenção na cobertura para evitar as quebras e enrugamento das diversas camadas da cobertura verde. A utilização deste tipo de suporte para as coberturas verdes acarreta, não só, mais um elemento de carga adicional à estrutura do telhado, mas também a exigência de maior investimento resultada da construção, podendo aumentar de forma significativa os custos e limitar utilização das coberturas verdes.

2.8. LEGISLAÇÃO APLICÁVEL

As coberturas verdes em Portugal ainda são muito recentes, pelo que se verifica facilmente a ausência de legislação, especificamente, ligada à sua implementação ou utilização desse tipo de coberturas, embora atualmente se observe um interesse maior pelo tema. O interesse nas coberturas verdes, por parte de algumas entidades com influência na sociedade, poderá desencadear a criação de legislação, de obrigatoriedade ou incentivos à construção de coberturas verdes, como são já aplicados noutros países. A existência de legislação sobre coberturas verdes é mais acentuada em países pioneiros nos estudos de coberturas verdes.

Atualmente, na Alemanha, país pioneiro na construção de coberturas verdes, 43% das cidades oferecem incentivos à construção de coberturas verdes (Neoturf, 2011), mas noutros países, nomeadamente, Suíça, Canadá, Estados Unidos e Japão, também já se encontra em vigor legislação específica aplicada às coberturas verdes. O governo de Copenhaga também já obriga a utilização de coberturas verdes (Lusocuanza, 2011). No Canadá, em 2006, foi elaborado um manual (A Resource Manual for Municipal Policy Makers) que serve de recurso aos governantes municipais para a implementação/criação de legislação e incentivos para a construção de coberturas verdes. A criação do manual teve como base de 12 jurisdições (v. Tabela 2.5) aplicadas, na altura, em todo o mundo.

Tabela 2.5 Jurisdições que serviram de elaboração (Adaptado de (Lawlor, *et al.*, 2006))

Canadá	EUA	Alemanha	Suíça	Japão	Singapura
Montreal	Chicago	Múnster	Basileia	Tóquio	Singapura
Toronto	Nova Iorque	Estugarda			
Vancouver	Portland				
Waterloo					

A aplicação de qualquer política ou programa de coberturas verdes é exclusiva, de cada município, e depende de diversos fatores, nomeadamente o clima local, posição política e ambiental e capacidade de recursos. Desta forma, é importante realçar os fatores chave para a criação de legislação e incentivos às coberturas verdes, fatores esses que levam as comunidades a considerar os telhados verdes como forma eficaz de reduzir os efeitos da poluição e urbanização maciça, tais como:

- Controlo do escoamento das águas pluviais;
- Redução do efeito de ilha de calor urbano;
- Minimização do consumo energético;
- Redução da poluição atmosférica;
- Aumento de espaços verdes;
- Manutenção da biodiversidade

Na Tabela 2.6 são apresentados os fatores chave para a criação de cada jurisdição que serviu de base à criação do manual *A Resource Manual for Municipal Policy Makers*.

Tabela 2.6 Principais motivadores que serviram de base à criação das legislações

Jurisdições	Motivadores							
	Eficiência energética	Oportunidades agricultura urbana	Gestão escoamento águas superficiais	Redução do efeito ilha de calor urbano	Melhoria qualidade do ar	Aumento espaços verdes	Melhoria qualidade de vida	Aumento da biodiversidade
Montreal	✓	✓	✓	✓	✓			
Toronto			✓			✓		
Vancouver			✓					
Waterloo			✓		✓		✓	
Chicago				✓	✓			
Nova Iorque			✓	✓				
Portland			✓					
Basileia	✓							✓
Münster			✓			✓	✓	
Singapura	✓			✓				
Estugarda					✓	✓		
Tóquio	✓			✓				

O desenvolvimento das políticas e programas de telhados verdes, compreende seis fases distintas (v. Figura 2.14). No decorrer da implementação de um programa de legislação e incentivo a coberturas verdes, não é necessário que uma fase esteja terminada para se dar início à seguinte, podendo a jurisdição estar simultaneamente em diferentes fases do processo de implementação.

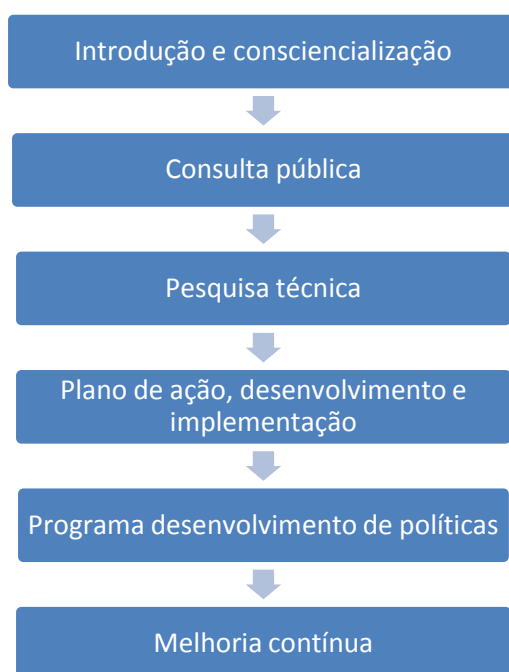


Figura 2.14 Fases de implementação de políticas e programas coberturas verdes

Numa primeira fase, introdução e consciencialização, os responsáveis pela criação da legislação podem optar pela realização de eventos sobre coberturas verdes, para evidenciar as vantagens da utilização deste tipo de coberturas, quer em questões ambientais quer em questões económicas. Geralmente, nesta fase de implementação são mostrados exemplos práticos de construções e legislações que já tenham sido implementadas.

Na segunda fase, consulta pública, por vezes são organizadas reuniões com diferentes grupos e instituições, nomeadamente arquitetos, profissionais de paisagismo, população, proprietários de prédios e grupos ambientalistas para que se consiga o apoio desejado ao projeto. O comité fica responsável por explorar as fontes de financiamento, fabricantes e realizar um estudo sobre as oportunidades, ameaças e pontos fracos e fortes do desenvolvimento de telhados verdes num município.

Posteriormente, numa fase de pesquisa técnica, é formada uma comissão de telhado verde que lança um projeto de demonstração de uma cobertura verde com ou sem equipamento de monitorização, dependendo da necessidade de pesquisa de dados. Nesta fase, também podem

ser exploradas e revistas opções políticas e ferramentas já existentes em vários programas e oportunidades políticas identificadas.

Na quarta fase, plano de ação, desenvolvimento e implementação, é criado um consórcio de parcerias público privadas para a criação de um local de pesquisa, sendo por vezes, locais de grande destaque, para quantificar e investigar os benefícios dos telhados verdes para fazerem parte das políticas e diretrizes dos projetos de coberturas verdes. A quinta fase, respeitante ao programa de desenvolvimento de políticas, estabelece formas de execução e aplicação dos incentivos (financeiros), sejam eles diretos ou indiretos, aos construtores e proprietários de edifícios, quer seja para a reabilitação quer seja para uma primeira construção.

Por último, numa fase de melhoria contínua, a entidade responsável pela implementação dos projetos, avalia a eficácia das políticas e programas de forma a decidir se a implementação apresenta resultados satisfatórios, ou se por outro lado será necessário enveredar por outras opções políticas. Geralmente, estas políticas extra só são implementadas para aperfeiçoar os programas já existentes. Por exemplo, na Alemanha, para “controlar” a negligência dos proprietários e conseguir-se alcançar os objetivos propostos, uma das jurisdições inclui a obrigação de manutenção das coberturas verdes por certo período de tempo.

Os primeiros incentivos à construção de coberturas verdes foram oferecidos pela Alemanha na década de 1980. O incentivo consistia em subsidiar 5 a 10% dos custos inerentes à construção de uma cobertura verde, para trazer de volta a natureza aos centros urbanos (Lawlor, *et al.*, 2006). Ainda na década de 80 a Alemanha alterou o código de construção e a lei da proteção da natureza para incluir uma compensação ecológica, visando numa primeira instância evitar, os distúrbios decorrentes da construção, e só depois minimizar ou mitigar. Em Montreal, Canadá, o Plano Diretor da Cidade contém, agora, uma linguagem mais específica no que diz respeito aos telhados verdes, constando do documento um programa de incentivos diretos, oferecidos pelo utilitário de gás (Gaz Métropolitain) (Lawlor, *et al.*, 2006).

2.9. EXEMPLOS DE COBERTURAS VERDES

A utilização das coberturas verdes enquanto hortas para produção de alimentos tem o Hotel Bell, Book, and Candle (v. Figura 2.15), em Nova Iorque, como exemplo, onde existem mais de 1000 plantas e 70 variedades de vegetais, ervas e frutas, utilizadas para a produção dos pratos oferecidos pela casa (Ampla, 2011). A cobertura verde do hotel, além de produzir alimentos com qualidade garantida, ainda contribui para a melhoria de fatores ambientais, nomeadamente redução da ilha de calor urbano, melhoria da qualidade do ar.



Figura 2.15 Produção de alimentos na cobertura do Hotel Bell, Book, and Candle (Fonte: (Ampla, 2011))

O Museu Quai Branly (v. Figura 2.15), em Paris, é outro exemplo da utilização de coberturas verdes como forma de inovação e alternativa para as cidades do mundo inteiro. Esta obra, proposta pelo britânico francês Patrick Blanc, foi o ponto de partida para a implementação de vegetação em coberturas e paredes de outros edifícios, como o Museu Caixa Forum em Madrid (v. Figura 2.17).



Figura 2.16 Cobertura a parede verde do Museu Quai Branly (Fonte: (Ampla, 2010))



Figura 2.17 Museu Caixa Forum, Madrid (Fonte: (Ampla, 2011))

Cada vez mais, o *design* verde é uma tendência da arquitetura moderna, e a Escola de Arte, Design e Media da Universidade Tecnológica de *Nanyang* (v. Figura 2.18), Singapura, é um excelente exemplo de mais um edifício com cobertura verde. A projeção do edifício foi feita de

forma a este ser capaz de melhorar a captação dos raios solares e aumentar a economia de energia e iluminação elétrica, e através da cobertura verde manter a temperatura ambiente no interior do edifício.



Figura 2.18 Universidade Tecnológica de Nanyang (Fonte: (Wordpress, 2010))

Outro exemplo de cobertura verde é a fábrica da Ford no Michigan (v. Figura 2.19.), Estados Unidos da América, considerada a maior cobertura verde do mundo com 10,4 hectares. A cobertura verde da fábrica, além de oferecer um habitat para pássaros e insetos e boas condições de isolamento, veio substituir uma estação de tratamento de águas no complexo industrial. A substituição da estação de tratamento deve-se à inclusão de vários dispositivos responsáveis pelo escoamento e absorção da água da chuva.



Figura 2.19 Cobertura verde da Ford, fábrica de River Rouge (Fonte: (Green Roofs For Helthy Cities, 2007))

Capítulo 3 - CASO DE ESTUDO

3.1. METODOLOGIA

De forma a avaliar experimentalmente a influência das coberturas verdes no comportamento térmico de edifícios, é necessária a construção e instalação de uma “célula-de-teste” e montagem de um sistema de aquisição de dados para a registar a evolução temporal dos vários parâmetros a monitorizar. Uma vez que o laboratório projetado e montado servirá de suporte ao estudo experimental de coberturas verdes é conveniente que se faça uma escolha adequada dos materiais de construção da “célula-de-teste” (apresentados na secção 3.1.2), do tipo de cobertura verde a implementar (secção 3.3) e dos parâmetros a monitorizar (secção 3.4). É importante referir que a “célula-de-teste” se encontra dividida em duas zonas idênticas, que serão designadas “compartimento de teste” (zona onde será implementada a cobertura verde) e “compartimento de controlo” (zona com cobertura tradicional).

3.1.1. LOCALIZAÇÃO E ORIENTAÇÃO

Aquando da preparação da “célula-de-teste” teve-se um especial cuidado com a respetiva orientação e localização. Assim, foi instalada no Campus da Universidade de Aveiro, perto da Ponte Pedonal sobre o Estreito de S. Pedro (v. Figura 3.1), com coordenadas GPS 40° 62.809’N e 8° 65.6594’W, orientada a Sul Real (SR). A orientação da “célula-de-teste” a SR, assim como a orientação comum das habitações, é um fator muito importante a ter em conta no que diz respeito a ganhos solares passivos e aumento das zonas de sombreamento que condicionam fortemente as temperaturas interiores dos edifícios.

A orientação das habitações a SR é fundamentada sobretudo pela posição em que o sol se encontra nas diferentes estações do ano (v. Figura 3.2). Desta forma, a orientação da “célula-de-teste” para SR permite que no Inverno se beneficie o máximo possível da radiação solar que incide sobre a mesma, visto que o sol se encontra mais baixo e, desta forma, aumentar o ganho solar passivo do edifício. Por outro lado, pelo facto do sol, no Verão, se encontrar mais alto provoca maiores zonas de sombreamento nas habitações.



Figura 3.1 Localização da "célula-de-teste"

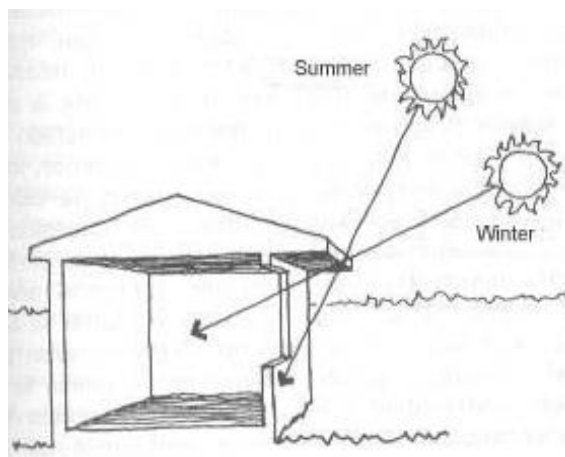


Figura 3.2 Posição do Sol no Verão e Inverno (Fonte: (Lanham, *et al.*, 2004))

No que diz respeito à orientação da “célula-de-teste” e de modo a executar com precisão essa tarefa no local disponibilizado pela Universidade de Aveiro, recorreu-se a um serviço de Sistema de Informação Geográfica. Desta forma, para se conseguir utilizar o sistema são necessários dois pontos específicos no solo com as respetivas coordenadas conhecidas através do sistema de coordenadas nacional DATUM 73. Depois de conhecidas as coordenadas dos dois pontos estabelecidos, através de um dispositivo denominado “Estação Total de Cartografia” foram rigorosamente medidas as distâncias e ângulos, que, com o auxílio de cálculos trigonométricos e das equações do Teorema de Pitágoras e Teorema de Carnot (ou dos cossenos), possibilitaram o posicionamento da “célula-de-teste” na direção pretendida.

3.1.2. CÉLULA-DE-TESTE: MATERIAIS E CONSTRUÇÃO

Na presente secção é apresentada a “célula-de-teste”, com identificação dos materiais de construção da “célula-de-teste” e respetivas dimensões. A “célula-de-teste” instalada tem uma forma paralelepípedica (v. Figura 3.3) com 7 m de comprimento, 2,35 m de largura e 2,57 m de altura, sendo o pé direito igual 2,28 m e perfazendo uma área total de 16,45 m².

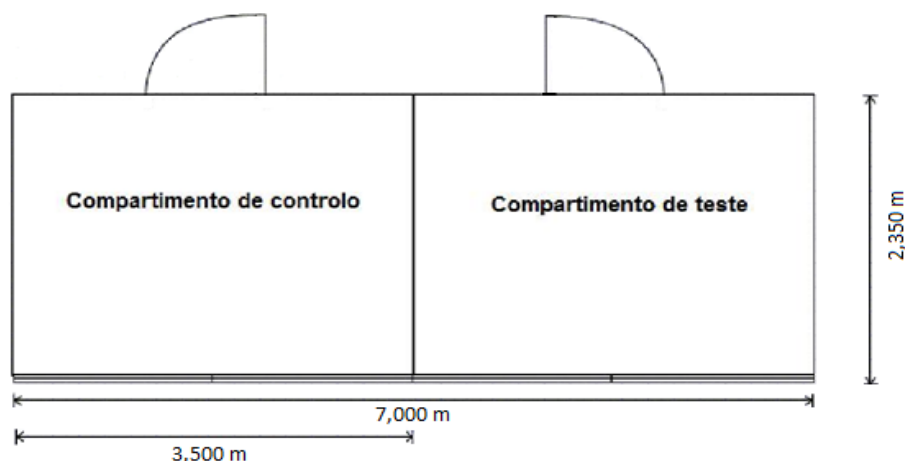


Figura 3.3 Esquema da "célula-de-teste"

O pavimento da "célula-de-teste" é constituído numa camada inicial por perfis de chapa galvanizada conformados a frio, que sustentam uma carga repartida de forma uniforme 250 kg m^{-2} . Agregada a essa camada de chapa galvanizada existe uma camada isolante de estrado Fenólico com 18 mm de espessura e uma tela de Vinílico *Traviata 6026* utilizada para revestimento do piso.

A cobertura da "célula-de-teste" numa camada inferior é formada por chapa perfilada galvanizada em poliéster de silicone branco *pirinéu 1006*, de 0,05 mm de espessura, denominada por teto falso. Entre o teto falso e a camada superior da cobertura da "célula-de-teste" existe uma camada de fibra de vidro com lâmina anti-vapor (80 mm de espessura) para melhorar o isolamento da cobertura. Por último, e por cima da camada de fibra de vidro, a cobertura da "célula-de-teste" possui uma chapa galvanizada com perfis conformados a frio sobre a qual assenta um conjunto de tubos galvanizados (de dimensões 40 x 30 x 1,5 mm) onde se fixa uma chapa perfilada do tipo HT-30 com 0,6 mm de espessura.

Os pilares da "célula-de-teste" são formados por perfis quinados em aço galvanizados (com 2 mm de espessura) e contêm no interior um tubo redondo em PVC, com 70 mm de largura e 2,5 mm de espessura, responsável pelo escoamento das águas da cobertura. No interior da "célula-de-teste", os pilares encontram-se rematados por uma chapa lacada para embutir as cabelagens elétricas.

As paredes laterais da "célula-de-teste" são constituídas por um painel *sandwich* de 40 mm de espessura, composto por chapa de aço pré-lacada sobre base galvanizada em ambas as faces e isolamento intermédio (térmico e acústico) formado à base de resinas de poliuretano auto-extinguível. O painel *sandwich* apresenta um coeficiente de transmissão térmica (k) de $0,51 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e é muito resistente perante a humidade, mantendo-se praticamente inalterado ao longo do tempo. Quanto ao comportamento contra o fogo é classificado como M2, ou seja, dificilmente inflamável.

A fim de a “célula-de-teste” poder ser utilizada noutro tipo de estudos, como por exemplo os ganhos solares passivos em edifícios com os chamados materiais de mudança de fase (*PCMs*), é conveniente que a face da “célula-de-teste” virada a SR seja construída em vidro duplo. NA presente situação, toda a face virada a SR (v. Figura 3.4) é composta por duas montras de caixilharia em alumínio lacado a branco (1800 x 2280 mm) com vidro duplo de 5 + 12 + 5 mm. Por sua vez, a face virada a NR (v. Figura 3.5) é construída com um painel sandwich, em que se incluem duas portas em aço lacado a branco, de dimensões 900 x 2010 mm, que dão acesso a cada um dos compartimentos.



Figura 3.4 Face virada a SR



Figura 3.5 Face virada a NR

A construção da “célula-de-teste” utilizando diferentes materiais nas várias constituintes, nomeadamente pavimento, paredes laterais e cobertura, é determinante não só para as questões de isolamento mas também da aproximação a casos reais. A Figura 3.6 apresenta um plano da “célula-de-teste” com identificação das diferentes camadas de materiais de construção.

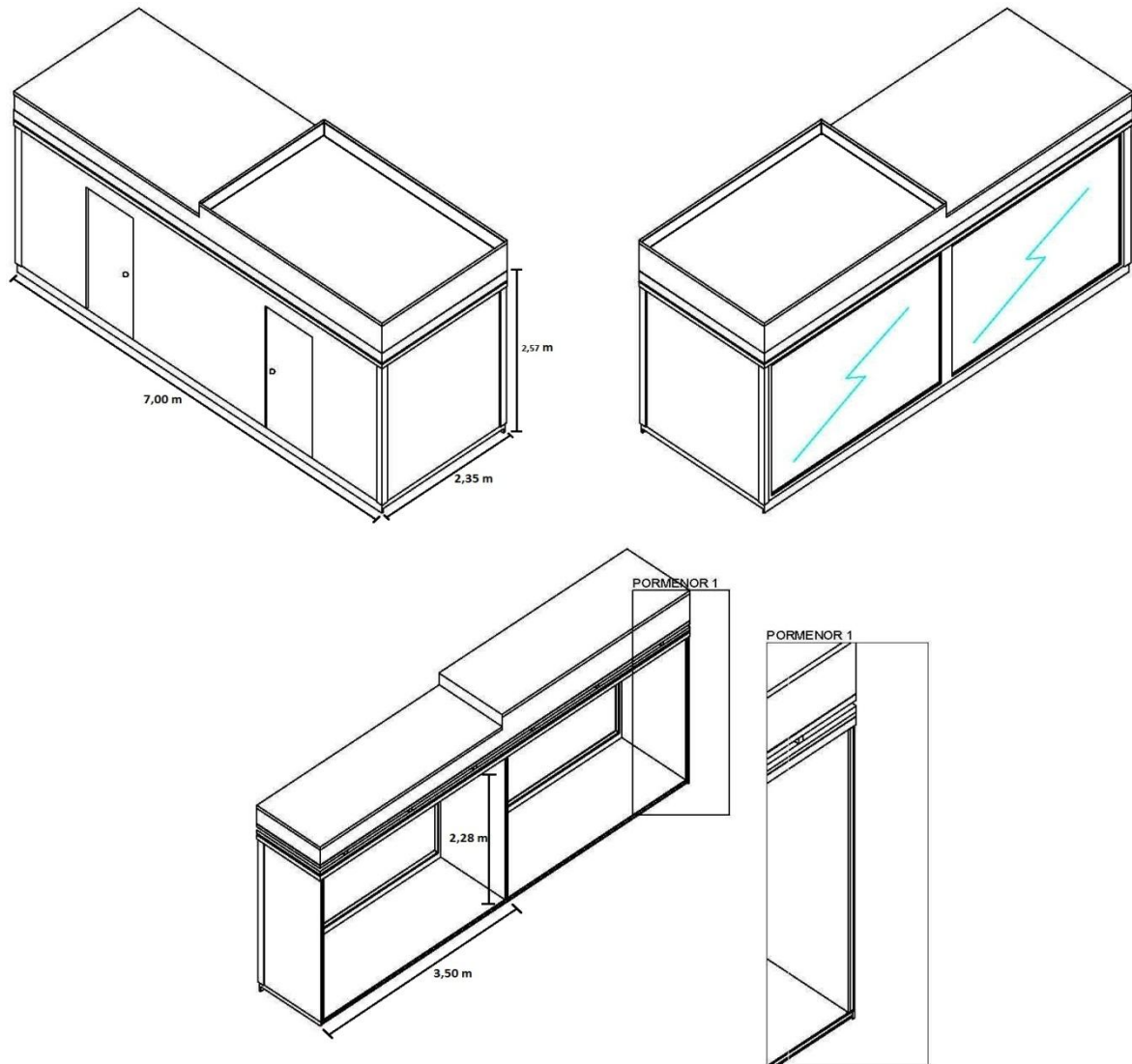


Figura 3.6 Esquematização da “célula-de-teste” e dimensões

3.2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A aquisição dos dados referentes aos parâmetros a monitorizar, como mostra a Figura 3.7, tem uma forma muito simples de se processar e compreender. Desta forma, as sondas de medição são fixadas em pontos estratégicos da “célula-de-teste”, quer no compartimento de controlo quer no compartimento de teste. Posteriormente a informação recolhida pelas sondas é enviada para os módulos recetores (v. Figura 3.7), que funcionam numa linha de comunicação RS485 de acordo com o protocolo, onde é processada e convertida em dados que possam depois ser descarregados para um computador pessoal. Para que a transferência dos dados monitorizados para o computador pessoal seja possível, o computador deverá estar equipado com a aplicação *EZ Data Logger Basic*.

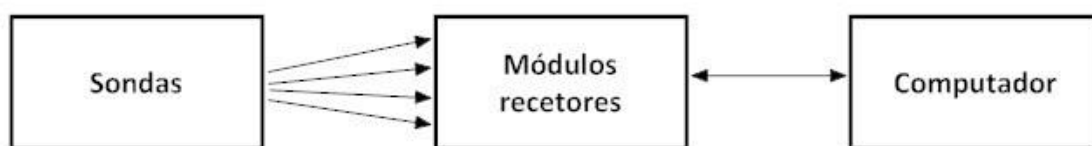


Figura 3.7 Esquemáticação de modo de funcionamento de sistema aquisição de dados

Os registos dos dados experimentais de temperaturas e humidades (internas e externas) são feitos tendo por base a utilização de várias sondas. Desta forma, para a medição das temperaturas em vários pontos da “célula-de-teste” (no compartimento de teste e no compartimento de controlo) recorre-se a um conjunto de sondas Pt100 3F (v. Figura 3.8).

As sondas Pt100 3F, cujas principais características são reportadas na Tabela 3.1, caracterizam-se, essencialmente pela constituição de resistências sensíveis à temperatura, pelo que se encontram ligadas a três fios idênticos (v. Figura 3.9) para compensar a sensibilidade dessas mesmas resistências ao longo do cabo. A compensação dada ao longo do cabo é importante para garantir a precisão dos dados.



Figura 3.8 Sondas Pt 100 3F

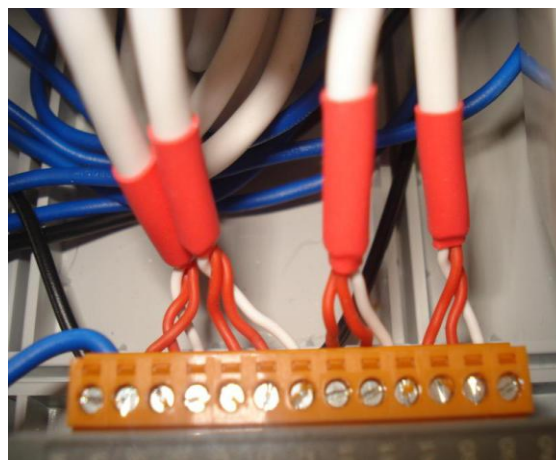


Figura 3.9 Ligação de três fios em sondas Pt100

Tabela 3.1 Características das Sondas Pt100 3F

Parâmetros		Valores Característicos
Bolbo		PCA 2 x 5 mm Classe A
Temperatura máxima		200°C
Temperatura mínima		-50°C
Dimensões	Diâmetro	6 mm
	Comprimento	30 mm
Cabo em silicone		3000 mm

Por outro lado, para a monitorização da temperatura e humidade exterior da “célula-de-teste” é utilizada uma sonda HD 9008 TR (v. Figura 3.10). A sonda HD 9008 TR, cujas características são apresentadas na Tabela 3.2, não deve ser instalada em zonas de correntes de ar ou na proximidade de fontes de calor, a fim de evitar a diminuição da humidade relativa e aumento da temperatura. Desta forma, a sonda é colocada no exterior da “célula-de-teste”, ao nível da cobertura, mas contém um suporte com 12 anéis (da marca Delta Ohm) para evitar que as correntes de ar interfiram nos resultados registados.



Figura 3.10 Sonda de humidade HD 9008 TR: (A) Sonda, (B) Suporte de proteção

Tabela 3.2 Características da Sonda HD 9008 TR

Parâmetro		Valores Característicos
Temperatura de trabalho da parte eletrónica		-40 ... +80°C
Temperatura de trabalho do sensor		-40 ... +80°C
Alimentação do transmissor		10 ... 30 Vcc (4... 20mA)
Capacidade		300 pF typ.
Humidade	Faixa de medição	0 a 100% HR
	Precisão a 20°C	± 2% HR (10 ... 90% HR) ; ± 2,5% HR (para restantes valores da gama)
	Tempo de resposta à 63% da variação final	3 min com filtro ; 6 seg sem filtro
	Sinal de saída	0% HR = 4,0 mA; 100% HR = 20,0 mA
	Resistência com carga	$RL_{max} = \frac{(V_{dc} - 10)}{22 \text{ mA}}$

Tabela 3.2 Características da Sonda HD 9008 TR (Cont.)

Parâmetro		Valores Característicos
Temperatura	Faixa de medição – Configuração padrão	-40 ... +80°C
	Precisão	$\pm 0,15^{\circ}\text{C} \pm 0,1\%$ da medição
	Tempo de resposta à 63% da variação final	60 seg com filtro ; 5 seg sem filtro
	Sinal de saída	-40°C = 4,0 mA ; +80°C = 20,0 mA
	Resistência com carga	$R_{lmax} = \frac{(V_{cc}-7)}{22 \text{ mA}}$
Dimensões		Ø 26 x 225 mm
Comprimento máximo		200 m
Secção mínima do fio		20 AWG – 0,5 mm ²
Diâmetro máximo do cabo		Ø 5 mm

As medições de temperatura e humidade no interior da “célula-de-teste” (apenas no compartimento de teste) são realizadas através da sonda 907021/21 marca JUMO (v. Figura 3.11). A sonda de temperatura e humidade 907021/21, cujas características principais são apresentadas na Tabela 3.3, pode ser fixada na parede ou em suspensão.



Figura 3.11 Sonda de medição de temperatura e humidade interior

Tabela 3.3 Características operacionais de sonda de temperatura e humidade interior

Parâmetro		Valores Característicos	
Voltagem alimentação	Voltagem saída	15 – 35 VDC	24 VAC \pm 20%
	Corrente saída	20-35 VDC para RL<500 Ohm	11-35 VDC para RL<50 Ohm
Corrente de alimentação		15 mA para voltagem saída	
Compatibilidade eletromagnética		EN 61000-6-1 EN 61000-6-3	EN 61326-1+A1+A2
Faixa de temperatura	Trabalho	-5 ... +50 °C	
	Armazenamento	-30 ... +60 °C	
Humidade	Saída 0÷100% HR	0 – 10 V 4 – 20 mA	RL > 10 kOhm RL < 500 Ohm (2 fios)
	Faixa de trabalho	20 ... 90% HR	
	Precisão 20°C	\pm 3% HR (40... 60% HR) ; \pm 5% HR (faixa de trabalho)	
Temperatura	Saída 0 ... 50°C	0 – 10 V 4 – 20 mA	RL > 10 kOhm RL < 500 Ohm (2 fios)
	Precisão 20°C	\pm 0,5 °C	

A Figura 3.12 mostra o Piranómetro LP PYRA 03, sensor utilizado para medição da radiação solar total horizontal que incide sobre a cobertura da “célula-de-teste”. Na Tabela 3.4 são apresentadas as principais características técnicas e funcionais do sensor de monitorização da radiação. Para que a quantificação da radiação que incide sobre a cobertura seja feita adequadamente, o Piranómetro é fixado ao nível superior da cobertura verde, evitando assim situações de sombreamento do mesmo.

**Figura 3.12** Piranómetro LP PYRA 03

Tabela 3.4 Características do Piranômetro LP PYRA 03

Parâmetro	Valores Característicos
Sensibilidade	4 a 20mA (0 a 2000 W/m ²)
Impedância	33 a 45 Ω
Faixa de medição	0 ÷ 2000 W/m ²
Ângulo de visão	2 π sr
Faixa espectral	305 nm a 2800 nm (50%)
Temperatura de operação	-40°C a +80 °C
Peso	0,45 kg

A monitorização da velocidade do vento é realizada pelo anemómetro 3R420020-KIT A (v. Figura 3.13), da marca Davis. Um qualquer Anemómetro é capaz de medir a velocidade do vento independentemente da direcção em que o mesmo se encontra e pode ser utilizado em várias atividades ao ar livre. Tal como cada sensor de monitorização, o anemómetro contém uma gama ótima de medição (v. Tabela 3.5), sendo também indispensável a colocação do mesmo num local onde não haja interferência no vento. Deste modo, o anemómetro é posicionado 1 m acima da cobertura verde.



Figura 3.13 Anemómetro 3R420020-KIT A

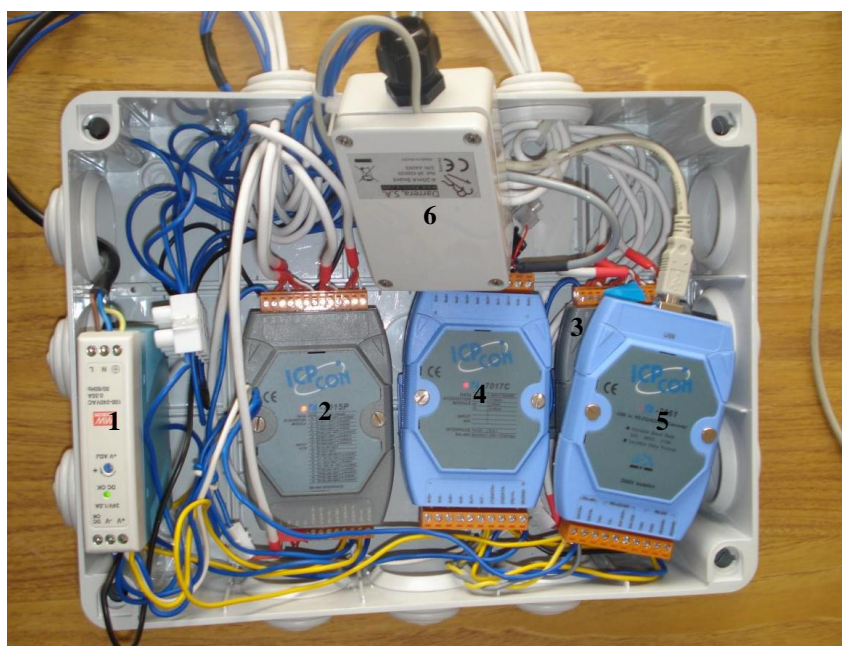
Tabela 3.5 Características Anemómetro 3R420020-KIT A

Especificações	Parâmetros	Valores característicos
Especificações mecânicas	Temperatura de operação	-40 ... +65 °C
	Material constituinte	Plástico ABS resistente a UV
	Dimensões	Largura 57mm
		Altura 57mm
	Peso	87 g

Tabela 3.6 Características Anemómetro 3R420020-KIT A (Cont.)

Especificações	Parâmetros	Valores característicos
Especificações do sensor	Resolução e unidades	0,36 Km h ⁻¹ (0,1 m s ⁻¹)
	Gama	1 ... 160 Km h ⁻¹ (44,44 m s ⁻¹)
	Precisão	±2%
	Intervalo de medição	2 s

De forma a ter-se um sistema de monitorização eficaz e de simples funcionamento, é necessário efetuar ligações entre os sensores de monitorização e os módulos responsáveis pela conversão dos dados medidos (v. Figura 3.14 e Figura 3.15). Os módulos a que se ligam as 12 sondas de temperatura (Pt100), as 2 sondas de temperatura e humidade, o piranómetro e o anemómetro encontram-se ligados a um conversor que armazena todo o conjunto de informação permitindo descarregar numa fase posterior para o computador pessoal.

**Figura 3.14** Módulos recetores da informação proveniente das sondas

A Tabela 3.6 apresenta a legenda aos números de identificação dos módulos presentes na Figura 3.14, assim como marca e modelo dos mesmos.

Tabela 3.6 Módulos recetores

Número figura	Componente/Módulo	Características
1	Fonte de alimentação de 24V	Marca <i>Meanwell</i> ; Modelo MDR-20-24
2	Módulo aquisição de dados das sondas PT100	6 entradas RTD três fios; Marca ICPDAS; Modelo I-7015P-G-CR
3	Módulo aquisição de dados das sondas PT100	6 entradas RTD três fios; Marca ICPDAS; Modelo I-7015P-G-CR
4	Módulos de aquisição de dados das sondas HD 9008 RT e 907021/21	Entradas em corrente 4,0... 20mA; Marca ICPDAS; Modelo I-7017C-CR
5	Módulo conversor USB para RS485	Marca ICPDAS; Modelo I-7561-CR
6	Conversor de velocidade do vento	

O computador pessoal necessita da instalação da aplicação *EZ Data Logger Basic*, de forma a permitir a visualização dos valores adquiridos a funcionar numa linha de comunicação RS485. A associação do módulo conversor ao computador permite recolher, processar e guardar toda a informação monitorizada pelo conjunto de sensores. O equipamento permite fazer medições dos parâmetros e guardar os registos a cada segundo, tendo capacidade para armazenar os dados correspondentes a 10000h de amostragem. Na Figura 3.15 é apresentado um esquema de todas as ligações efetuadas entre os sensores e os módulos do sistema de aquisição de dados.

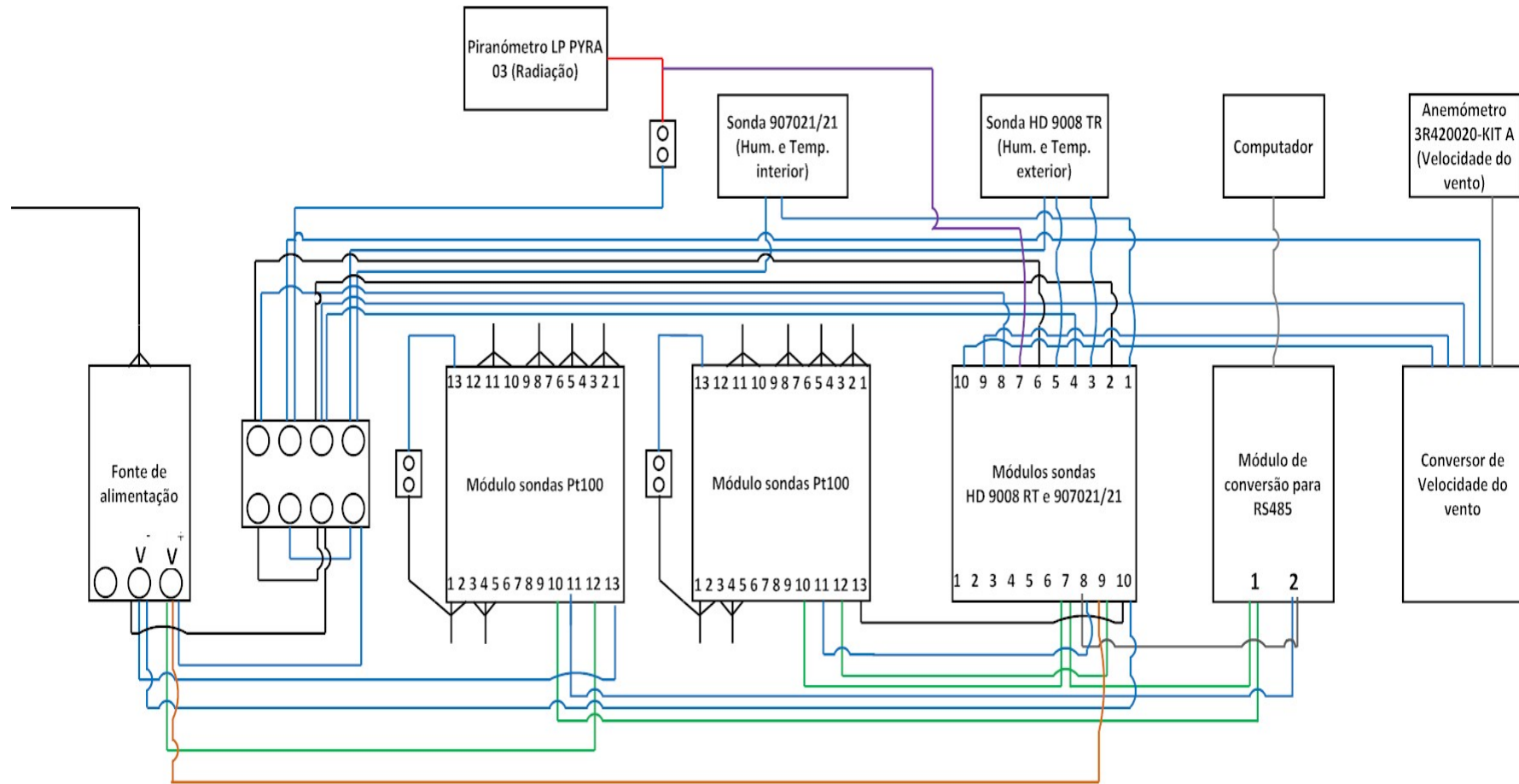


Figura 3.15 Esquema de ligações entre módulos recetores e instrumentos de monitorização: linhas verdes são os fios amarelos, linha laranja é fio branco, restantes cores correspondem às cores reais dos fios

3.3. COBERTURA VERDE E COBERTURA TRADICIONAL

Conforme se pode observar na Figura 3.3, a “célula-de-teste” encontra-se dividida em dois compartimentos distintos. Essa divisão da “célula-de-teste” serve essencialmente para poder comparar a situação de utilização de uma cobertura verde (comportamento de teste) e a situação de um edifício com cobertura tradicional (compartimento de controlo). Deste modo, sobre a estrutura da cobertura do compartimento de controlo foi aplicada uma chapa *sandwich* (40 mm de espessura) para oferecer algum isolamento à infraestrutura já existente e simular a cobertura tradicional de um edifício. É importante referir que entre a chapa *sandwich* e cobertura da “célula-de-teste” existe uma caixa-de-ar com 80 mm de espessura. A existência da caixa-de-ar deve-se sobretudo ao facto de ter sido necessário efetuar o reforço da estrutura da “célula-de-teste” com tubos de ferro zincado.

A cobertura verde será aplicada sobre um tabuleiro construído em chapa zincada (2 mm de espessura), colocado na cobertura do compartimento de teste. Este tabuleiro tem duas funções essenciais, nomeadamente suportar a cobertura verde e permitir a remoção da mesma quando não for necessária ou quando se pretender utilizar a “célula-de-teste” para outros estudos. É de realçar que devido ao reforço da estrutura da “célula-de-teste” existe uma caixa-de-ar entre a cobertura da “célula-de-teste” e o tabuleiro que suporta a cobertura verde.

Após um estudo bibliográfico sobre os tipos de coberturas verdes e condições climatéricas afetas ao local de estudo, bem como de uma solicitação técnica a uma empresa da especialidade sobre a cobertura que melhor se adapte à situação em causa, optou-se pela construção de uma cobertura verde do tipo extensivo. A opção de uma cobertura verde extensiva prende-se, sobretudo, com a incorporação de vegetação de menor porte, aliada à necessidade de menor espessura de substrato, o que implica uma menor carga adicional sobre a estrutura do telhado. Por outro lado, este tipo de cobertura é também a mais adequada ao clima de Portugal.

A Tabela 3.7 identifica as principais características da cobertura verde a instalar (v. Figura 3.16), destacando-se a utilização de uma variedade da espécie *Sedum* para a camada de vegetação e uma espessura de cobertura de cerca de 17 cm, valor que resulta da utilização de uma espessura de substrato com valores entre 8 e 12 cm, aconselhados para coberturas verdes em Portugal. A construção da cobertura verde ficará a cargo da empresa Neoturf, dedicada à construção e manutenção de coberturas e paredes verdes em edifícios, seguindo as normas técnicas utilizadas em projetos do tipo.



Figura 3.16 Cobertura verde a instalar (Fonte: (GreenSpec, 2010))

Tabela 3.7 Características da cobertura

Componente	Tipo de material
Área	7,70 m ² (2,2 × 3,5 m)
Espessura total	0,17 m
Carga exercida (quando saturada)	1,24 kN m ⁻²
Tela anti-raiz	WSF40, Zinco
Manta de absorção ou proteção	SSM45, Zinco
Elementos de drenagem	FD10, Zinco
Filtro do sistema	SF, Zinco
Substrato técnico	<i>Siro roof Neoturf</i>
Vegetação	<i>Sedum</i>

3.4. MONITORIZAÇÃO

Na presente secção, é apresentado o modo de funcionamento do sistema de monitorização associado ao laboratório montado, bem como uma abordagem aos parâmetros estudados quando se pretende avaliar a influência da utilização de coberturas verdes em edifícios. A Figura 3.17 mostra “janela” da aplicação, a que se tem acesso por um computador pessoal a funcionar com o sistema operativo MS Windows XP, com todas as opções ou funcionalidades que podem ser exploradas pelo utilizador, como por exemplo iniciar e parar uma amostragem e também visualizar os valores recolhidos instantaneamente por cada uma das sondas. Como mostra a Figura 3.17, o grupo A diz respeito às temperaturas medidas por 12 sondas térmicas e o grupo B corresponde aos restantes sensores para medição da velocidade do vento, humidade e radiação solar.

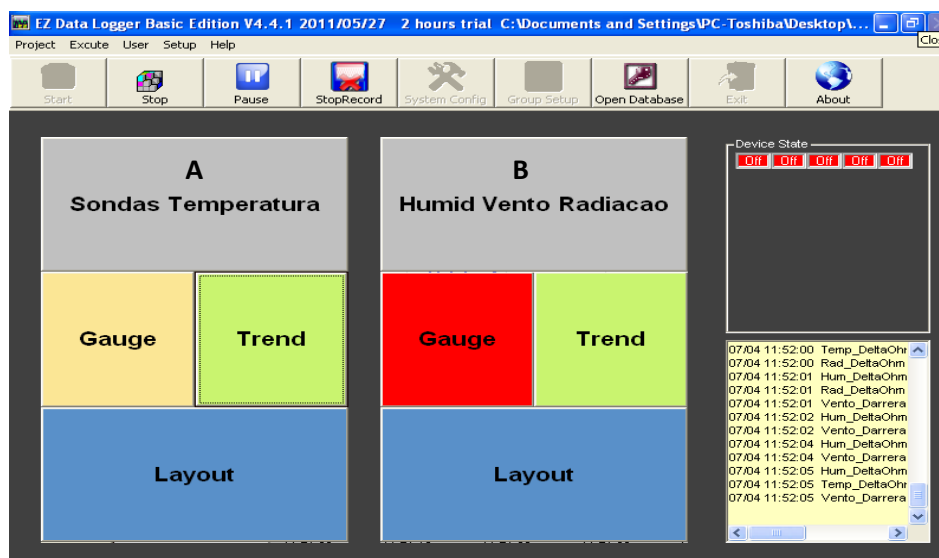


Figura 3.17 Display de funcionamento da aplicação

A utilização desta aplicação para a recolha de dados permite também visualizar as leituras instantâneas dos respetivos sensores ou sondas a partir do painel azul, designado *Layout*. O painel verde, designado por *Trend*, remete para uma visualização gráfica em tempo real dos dados obtidos pelas sondas escolhidas (v. Figura 3.18), com a possibilidade de se poder escolher o intervalo de tempo que se pretende observar e a frequência de amostragem.

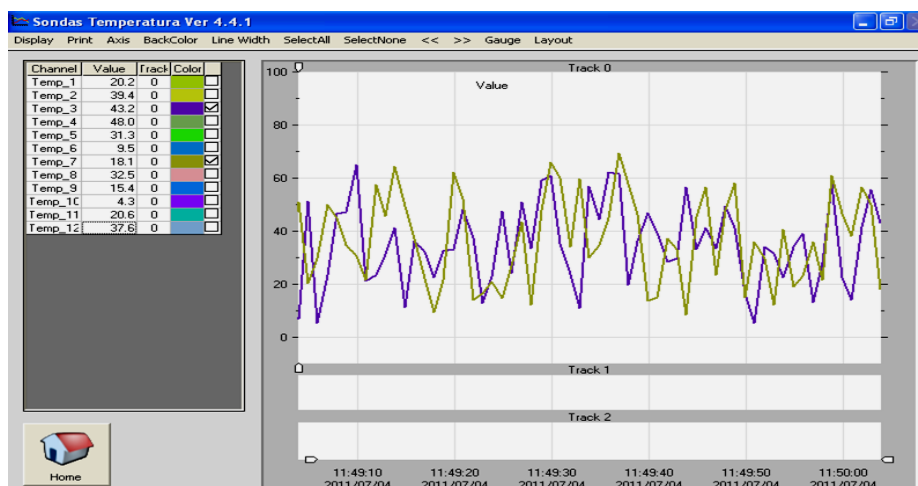


Figura 3.18 Exemplo de visualização gráfica em tempo real dos registos das sondas Pt100 3F

Após a amostragem, é possível imprimir ou exportar as medições realizadas em dois formatos diferentes, nomeadamente Microsoft Excel 2007 (.xlsx) ou *Notepad* (.txt), para eventual tratamento posterior.

Para estudar a transferência de calor entre o edifício e a respetiva envolvente, é normal considerar vários parâmetros que de forma direta ou indireta contribuam para as trocas de calor. A avaliação feita aos diferentes parâmetros é realizada tanto no compartimento de teste como no compartimento de controlo. Assim, nos subcapítulos seguintes são apresentados os parâmetros escolhidos nesta fase para serem monitorizados.

3.4.1. TEMPERATURA

O conceito de temperatura, para muitas pessoas, está relacionado em primeira instância com a noção de quente ou frio, embora a sua definição pela Lei Zero da Termodinâmica esteja relacionada com a quantidade escalar relacionada com a energia interna de um sistema termodinâmico. O número de propriedades físico-químicas de materiais ou substâncias afetadas pela temperatura é elevado, incluindo a pressão de vapor, condutividade elétrica, volume e também a velocidade com que as reações químicas ocorrem. A unidade de medida, em unidades do Sistema Internacional (SI), é o Kelvin (K), embora existam outras unidades de medida, geralmente utilizadas fora do campo da ciência, tais como as escalas Celsius (°C), Fahrenheit (°F) e Rankine (R). Deste segundo grupo, as escalas mais utilizadas fora do contexto da ciência, a mais utilizada é a escala Celsius, vulgarmente conhecida por escala centígrada. As escalas Fahrenheit e Rankine são hoje em dia quase exclusivamente utilizadas nos Estados Unidos.

A monitorização deste parâmetro, de acordo com estudos realizados em coberturas verdes, permite tirar ilações sobre a respetiva influência sobre o desempenho energético e sustentabilidade dos edifícios em que são implementadas. Dependendo do contexto climático e urbano, é possível identificar vantagens diretas da implementação das coberturas no próprio edifício (por exemplo, mantendo a temperatura interior a um nível mais agradável e diminuindo as suas flutuações) e, numa escala mais alargada, reduzindo o efeito de ilha de calor urbano.

Em dias de maior calor, as coberturas verdes são muito benéficas na redução das temperaturas a que as camadas superficiais das coberturas dos edifícios são sujeitas assim como as temperaturas internas dos edifícios contribuindo dessa forma para que a transferência de calor entre o exterior e o interior seja mais lenta (Simmons, *et al.*, 2008). O efeito de ilha de calor urbano, que se verifica nas zonas de aglomerados urbanos densos, consiste no aquecimento dessas zonas em relação á envolvente rural ou não urbanizadas e é sobretudo causado pela alteração do grau de absorção e emissão da radiação que atinge o ambiente construído (Fioretti, *et al.*, 2010). O referido efeito pode ser mitigado através da importante ação da vegetação, principalmente através do processo de transpiração e aumento da refletividade, sobretudo nas regiões mais quentes e de baixa latitude e onde o ângulo de incidência solar é mais elevado (Simmons, *et al.*, 2008).

Desta forma, importa monitorizar a temperatura em vários pontos, quer no interior da “célula-de-teste” quer seu exterior, com auxílio das sondas Pt100 3F, da sonda HD9008 TR para monitorização de temperatura e humidade exterior e da sonda 907021/21, responsável pelas

medições de temperatura e humidade interior (v. Figura 3.19). A sonda 907021/21 é colocada no compartimento de teste (com cobertura verde) para se poder comparar os seus registos com os dados medidos pela sonda HD9008 TR colocada no exterior da “célula-de-teste”, ao nível da cobertura verde.

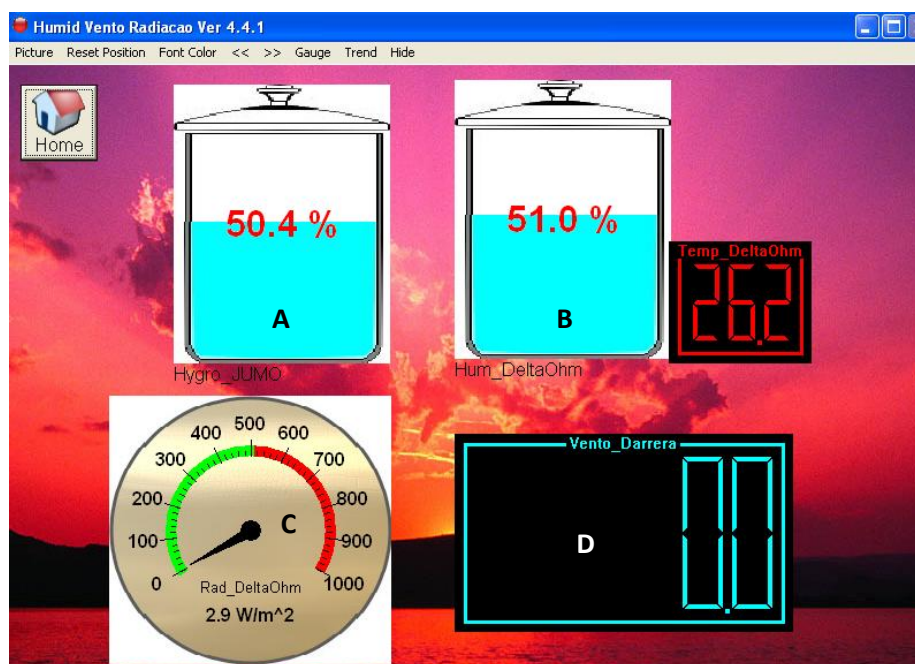


Figura 3.19 Leituras instantâneas de alguns sensores de monitorização: (A) humidade interior, (B) humidade exterior, (C) radiação solar na horizontal e (D) velocidade do vento

3.4.2. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

Um dos princípios fundamentais da termodinâmica é que o calor é transferido dos materiais mais quentes para os mais frios até que estes se encontrem em equilíbrio térmico, ou seja, à mesma temperatura. A condutividade térmica (k) é a grandeza física que mede a capacidade dos materiais em conduzir o calor e pode definir-se como a energia transferida sob a forma de calor num dado intervalo de tempo e através de uma superfície com as duas faces a diferentes temperaturas, expressando-se em $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$, unidades (SI), e dada pela Equação 3.1:

$$k = \frac{Q}{A \Delta t} \frac{L}{\Delta T} \quad \text{Equação 3.1}$$

sendo Q o calor transferido em ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$), A a área superficial (m^2), Δt o intervalo de tempo (s), L a espessura (m) do material e ΔT a variação de temperatura (K), entre as superfícies consideradas.

A condutividade térmica, cujos intervalos de valores para diversos materiais se encontram na Figura 3.20, permite diferenciar bons e maus condutores de calor, pelo que os materiais com alta

condutividade térmica conduzem mais rapidamente o calor e são, por isso, utilizados como dissipadores (bons condutores), enquanto os materiais com condutividade térmica mais baixa são usados como isolamento (maus condutores), pois conduzem o calor através da superfície mais lentamente.

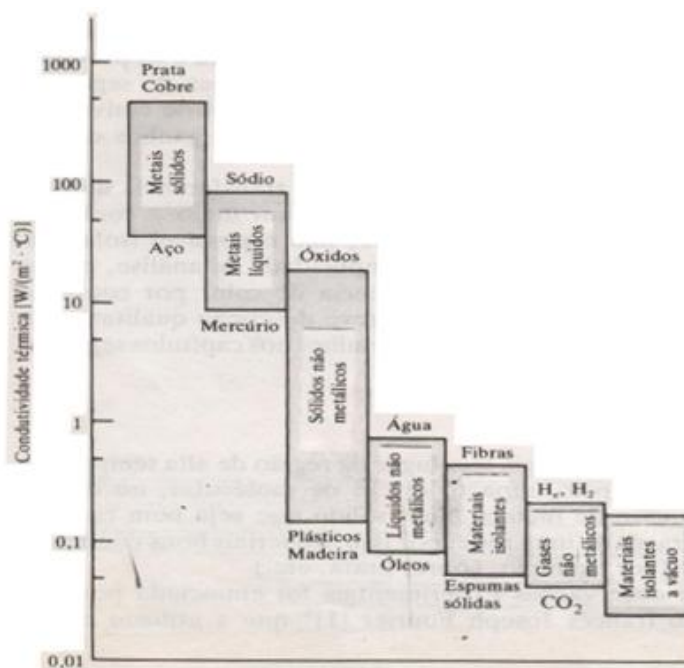


Figura 3.20 Intervalo de condutividade térmica de vários materiais (Fonte: (Özisik, 1990))

A condutividade térmica depende diretamente da temperatura, como se observa na Figura 3.21, e da influência de outros fatores como a fase em que os materiais se encontram e da estrutura dos mesmos. Por exemplo, quando um material sofre uma mudança de fase a condutividade normalmente altera-se. Por exemplo quando a água passa do estado sólido ao estado líquido, a condutividade passa de 2,18 para 0,58 W m⁻¹ K⁻¹ (@ 0 °C).

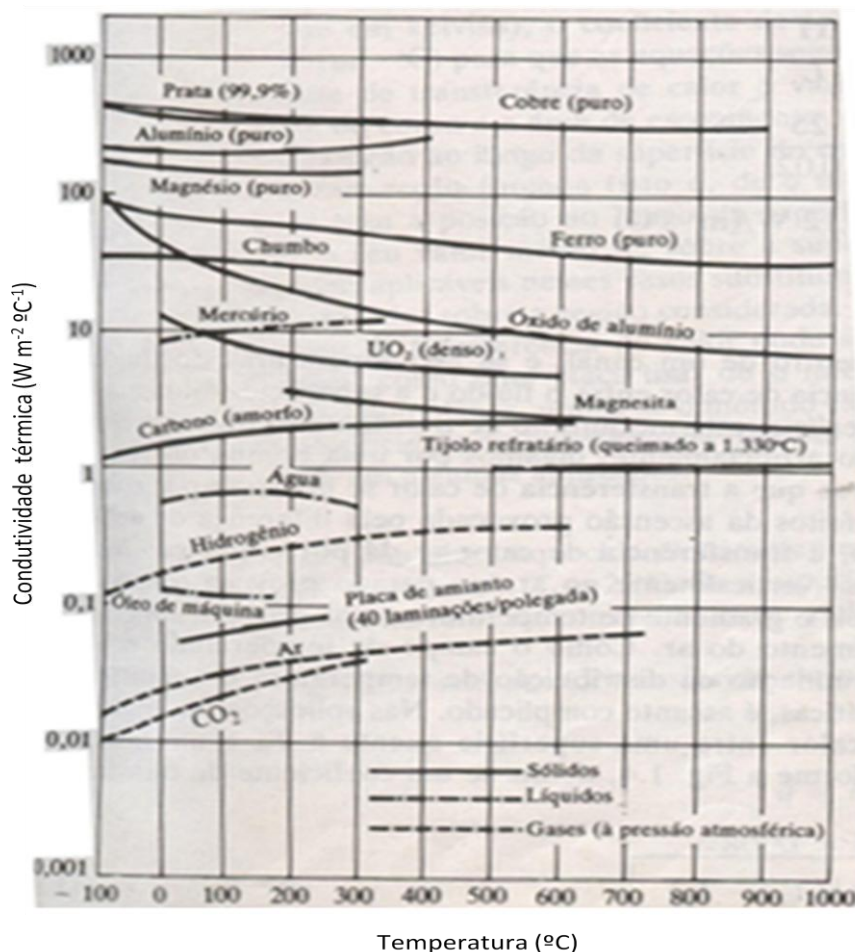


Figura 3.21 Efeito da temperatura na condutividade térmica (Fonte: (Özisik, 1990))

Pela importância que a condutividade térmica tem na determinação das transferências de calor através de superfícies, recorrer-se-á à bibliografia para se obter os valores de condutividades dos materiais. A monitorização deste parâmetro não será efetuado pois não existe no sistema de aquisição de dados instalado nenhum instrumento para o efeito.

3.4.3. PLUVIOSIDADE E HUMIDADE

A Hidrologia é a ciência que estuda a ocorrência, distribuição e movimentação da água no planeta. Assim, a precipitação tem um papel importante no ciclo hidrológico, dado ser o fenómeno relacionado com a queda de água, responsável pelo retorno de grande parte de água doce ao planeta.

Diversos estudos reportam que o aquecimento global em diversas zonas aumenta a frequência de eventos de precipitação intensa, provocando mesmo inundações urbanas. Resultante destas situações de inundações começou a pensar-se nas coberturas verdes também para desempenhar funções de escoamento das águas superficiais. O escoamento dessas águas

pluviais é afetado por diferentes fatores, tais como os materiais usados na construção da própria cobertura (componentes de drenagem, composição do substrato), espessura do substrato, tipo de vegetação e época do ano (Berndtsson, 2009).

Da mesma forma que a camada de drenagem permite a interceção e retenção da precipitação, os substratos também o conseguem fazer, embora a quantidade de água retida dependa em parte das características do substrato e, no caso da camada de drenagem, da altura dos “copos” que a compõe. A água retida na camada de substrato e no sistema de drenagem é, ao longo do tempo e a reduzida velocidade, libertada de volta para a atmosfera muito por causa do processo de transpiração decorrente da atividade biológica das plantas constituintes da cobertura verde (Dunnett, *et al.*, 2008).

A quantificação da água da chuva retida pela cobertura é possível de se realizar de diversas maneiras, sendo talvez a mais fácil e a prevista num projeto idêntico ao presente trabalho a utilização de um pluviómetro ou udómetro, instrumento de medição da pluviosidade. Desta forma seria aconselhável a utilização de dois instrumentos do mesmo tipo, não sendo no entanto necessário o mesmo tamanho para ambos. Assim, um dos instrumentos mediria a quantidade de precipitação total e o outro ficaria responsável pela medição da água “rejeitada” pela cobertura. Deste modo, por subtração da quantidade de água “rejeitada” à quantidade total de precipitação seria possível determinar a quantidade de água que uma cobertura verde é capaz de reter e, dessa forma, concluir acerca do benefício das coberturas verdes na gestão do escoamento das águas pluviais, que muitas preocupações têm causado em alguns locais onde se observou um rápido crescimento urbano e consequente impermeabilização dos solos.

De certa forma, a retenção de água na cobertura, embora essa água seja libertada por transpiração, também permite manter um teor de humidade da camada de substrato favorável ao desenvolvimento da camada de vegetação. Esse teor de humidade, por outro lado, também influencia as condições de isolamento térmico dos edifícios com coberturas verdes, uma vez que a água é um mau condutor e, em condições de elevado teor de humidade, diminui a transferência de calor do interior para o exterior do edifício no Inverno e do exterior para o interior no Verão, mantendo assim constante a temperatura interior do edifício (Castleton, *et al.*, 2010).

3.4.4. RADIAÇÃO

A radiação solar diz respeito sobretudo à energia transmitida sob a forma de radiação eletromagnética, não dependendo contudo da presença de um meio material, isto é, pode ocorrer no vácuo. A radiação solar, assim como outros tipos de energia, também é função da temperatura, uma vez que os objetos a temperaturas mais elevadas emitem maior quantidade de energia radiante. Desta energia emitida, há uma parte que corresponde a luz visível, isto é, com frequências do espectro eletromagnético mais elevadas e a outra parte é transmitida nas zonas de infravermelhos e ultravioletas do referido espectro.

Anualmente, a radiação solar fornece para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia, sendo esta forma de energia a principal responsável pela dinâmica da atmosfera, características climáticas do planeta e o suporte para a maioria das cadeias tróficas. Por esta razão, o estudo da radiação solar tem hoje em dia um papel importante em várias áreas de conhecimento humano, nomeadamente pesquisas meteorológicas (com vista às previsões climáticas), agricultura (para o planeamento de culturas), planeamento de edifícios (respeitante a questões de aquecimento e iluminação natural) e, no sector energético, para o dimensionamento dos sistemas de captação de energia (Vilela, 2010).

Assim, para quantificar a radiação, é usual falar-se em dois sistemas de grandezas e unidades relativas à radiação eletromagnética, o sistema fotométrico e o sistema radiométrico, havendo uma correspondência para as grandezas nos dois sistemas embora com nomes e unidades diferentes. O sistema fotométrico é apenas aplicável para radiação visível, referindo-se à luz da forma como é entendida pelo olho humano (sendo a sensibilidade do olho alterada com a frequência da radiação) e é limitada a uma pequena faixa do espectro eletromagnético. Neste sistema, a quantidade de luz que atinge a superfície é medida em lúmen por unidade de área (lm m^{-2}) e denomina-se por *luminância*. O sistema radiométrico é aplicado a todas as componentes do espectro, sendo a grandeza correspondente a *irradiância*, medida em watt por unidade de área (W m^{-2}) (Vilela, 2010).

Como instrumento de medição da radiação solar, é usual falar-se do piranómetro que se caracteriza pela precisão com que mede a radiação solar total horizontal que incide sobre a superfície terrestre (v. Figura 3.19). Para realizar essa monitorização, no presente trabalho optou-se pela instalação de um Piranómetro LP PYRA 03 colocado ao nível da cobertura verde, de modo a não estar sujeito a sombreamento.

3.4.5. FLUXO DE CALOR

Em Termodinâmica, o conceito de energia é utilizado para especificar o estado de qualquer sistema, pelo que se admite que esta não é criada nem destruída, isto é, varia apenas de forma (Özisik, 1990). Um fluxo de calor não pode ser medido diretamente, relacionando-se diretamente com a temperatura, pelo que, quando se verificam diferenças dessa grandeza num sistema, é possível determinar o fluxo de calor como a quantidade de calor transferido por unidade de área, medido em W m^{-2} , no SI (Özisik, 1990). Os estudos de fluxos de calor mostram três formas diferentes em que essa transferência pode ocorrer, nomeadamente condução, convecção ou radiação. Quando a influência de uma das componentes for considerada desprezível e de forma a simplificar a análise dessa transferência é possível considerar apenas dois desses três modos (Özisik, 1990). De acordo com Jim *et al.* (2010) os três modos de transferência de calor são alterados pelas características térmicas e propriedades dos componentes das coberturas verdes, tais como os processos metabólicos das plantas e evapotranspiração.

A condução de calor (v. Figura 3.22) é a troca de energia da região à temperatura mais alta para a região à temperatura mais baixa através do movimento cinético ou impacto entre moléculas. A lei empírica da condução de calor é denominada por *Lei de Fourier* e estabelece que a taxa de calor por condução é proporcional à área normal à direção do fluxo e ao gradiente de temperatura na mesma direção (x), de acordo com a Equação 3.2:

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Equação 3.2}$$

sendo Q_x a taxa de calor através da área A no sentido x , e a constante k a condutividade térmica do material (valor sempre positivo) (Özisik, 1990).

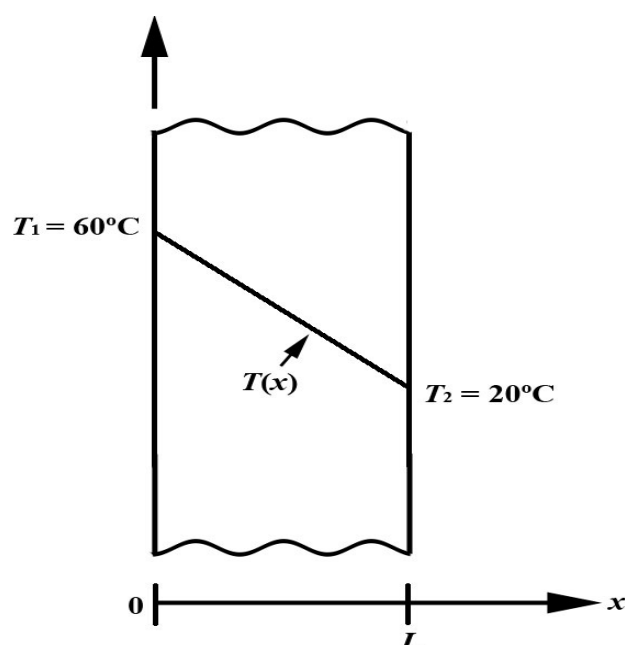


Figura 3.22 Condução de calor através de uma placa (Fonte: (Özisik, 1990))

A convecção diz respeito às transferências de calor entre um fluido e uma superfície sólida a diferentes temperaturas (v. Figura 3.23), quando existe escoamento desse fluido sobre um corpo sólido ou até mesmo dentro de um canal ou tubagem. A convecção de calor processa-se de duas formas distintas. Uma delas, denominada *convecção forçada*, ocorre quando o movimento do fluido é induzido artificialmente (p. ex., por uma bomba ou ventilador) forçando assim o movimento do fluido sobre a superfície, e a outra, que se designa *convecção livre* ou *natural*, ocorre quando o movimento do fluido resulta dos efeitos de ascensão provocados pela diferença de densidades resultantes das diferentes temperaturas no fluido (Özisik, 1990).

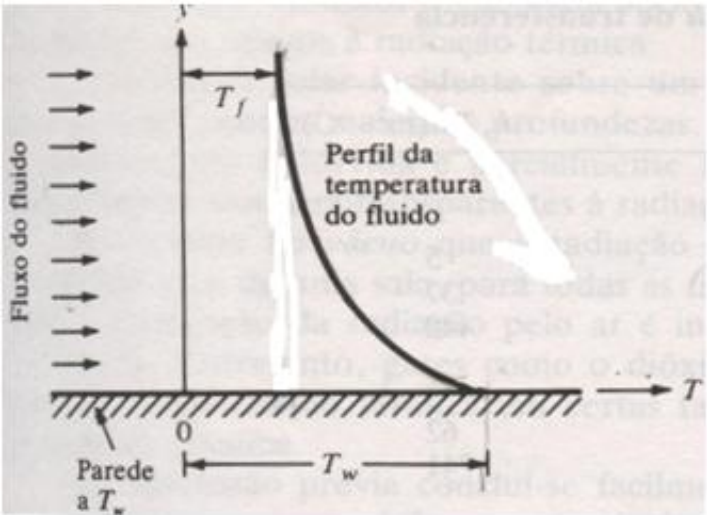


Figura 3.23 Transferência de calor por convecção de uma parede quente para um fluido frio (Fonte: (Özisik, 1990))

Assim, por definição, o fluxo de calor entre uma superfície quente e um fluido frio, que se movimenta sobre essa mesma superfície é dado pela Equação 3.3:

$$q = h (T_w - T_f) \quad \text{Equação 3.3}$$

sendo h é o coeficiente de transferência de calor (Tabela 3.8 e Tabela 3.9) em $\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, q o fluxo de calor do fluido, e T_w e T_f as temperaturas da parede e do fluido respetivamente.

Tabela 3.8 Coeficientes de transferência de calor por convecção livre ou natural (Adaptado de: (Özisik, 1990))

Tipo de Fluxo	h ($\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Convecção livre, $\Delta T = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$	
Placa vertical de 0,25 m em:	
Ar atmosférico	5
Óleo de máquina	37
Água	440
Cilindro horizontal com 0,02 m de diâmetro externo	
Ar atmosférico	8
Óleo de máquina	62
Água	741
Esfera de 0,02 m de diâmetro em:	
Ar atmosférico	9
Óleo de máquina	60
Água	606

Tabela 3.9 Coeficientes de transferência de calor por convecção forçada (Adaptado de: (Özisik, 1990))

Tipo de Fluxo	h (W m ² °C ⁻¹)
Convecção forçada	
Ar atmosférico a 25°C com $U = 10 \text{ m s}^{-1}$ uma placa lisa:	
$L = 0,1 \text{ m}$	39
$L = 0,5 \text{ m}$	17
Fluxo, a 5 m s^{-1} , num cilindro com 1cm de diâmetro externo, com:	
Ar atmosférico	85
Óleo de máquina	1800
Água a 1 kg s^{-1} dentro de um tubo de 2,5 cm de diâmetro interno	10500

Da observação da Tabela 3.8 e Tabela 3.9, verifica-se o coeficiente de transferência de calor depende de fatores como o tipo e área de escoamento ou fluxo, geometria do corpo e propriedades físicas do fluido e do mecanismo de transferência (forçado ou livre).

Por último, a transferência de calor por radiação diz respeito á energia radiante absorvida ou emitida por um corpo. A radiação é emitida quando se forma no interior do corpo, mas quando atravessa a superfície desse mesmo corpo ou por outro lado, é atenuada no interior é denominada radiação absorvida. Sendo assim, o fluxo máximo de radiação emitido ou absorvido por um corpo depende da temperatura a que o mesmo se encontra, podendo ser calculado através da aplicação de um fator de emissão (ε) à Lei de *Stefan-Boltzman*, pois o fluxo de radiação de um corpo real é sempre inferior ao fluxo de um corpo negro, dada pela Equação 3.4:

$$E_b = \varepsilon \sigma T^4 \quad \text{Equação 3.4}$$

em que T representa a temperatura absoluta, em kelvin, σ a *constante de Stefan-Boltzman* ($= 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e ε a emissividade, cujos valores estão compreendidos entre 0 e 1 (Özisik, 1990).

Para melhor compreender as eventuais poupanças energéticas resultantes da utilização de coberturas verdes, é importante conhecer os fatores e processos associados ao fluxo de calor (Jim, *et al.*, 2010). Através do estudo desses fluxos de calor, é possível tirar algumas conclusões sobre eventuais reduções energéticas. Desta forma, como não está associado ao sistema de monitorização qualquer equipamento preparado para determinar o fluxo de calor (fluxímetro), é possível a quantificação indireta do fluxo de calor, recorrendo-se à Equação 3.2 (referente à transferência de calor por condução) e utilizando os valores monitorizados e tabelados.

Capítulo 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

De modo a atingir-se os objetivos propostos para o presente estudo, foi essencial um planeamento pormenorizado do trabalho. Para tal, foi necessário realizar uma revisão bibliográfica extensa, destinada a definir uma projeção adequada do laboratório, nomeadamente “célula-de-teste”, o sistema de aquisição de dados e parâmetros a monitorizar, e cobertura verde.

A “célula-de-teste” não se encontra em contacto com o solo, de modo a aproveitar a elevada inércia térmica por este oferecida, facto que, por si só, poderá alterar o desempenho térmico do equipamento. No que diz respeito aos instrumentos de monitorização, é importante realçar que o fator principal para a escolha desses equipamentos eletrónicos foi a possibilidade de registo da evolução temporal de diversos parâmetros, nomeadamente temperatura, humidade, radiação solar total na horizontal e velocidade do vento. Outro parâmetro de interesse para o estudo das coberturas verdes em edifícios é a quantificação da retenção de águas das chuvas. Embora, a pluviosidade seja um parâmetro essencial no estudo das coberturas verdes, o laboratório implementado não contempla, pelo menos numa fase inicial, qualquer instrumento capaz de o fazer. A ausência de tal instrumento é explicada pelo facto de a empresa vendedora dos instrumentos de monitorização não ter disponível qualquer modelo de pluviómetro que permitisse a comunicação dos dados através do protocolo RS485.

De acordo com os testes realizados à montagem do equipamento de monitorização, ficou demonstrado que o equipamento está a funcionar corretamente e produz resultados fiáveis, concluindo-se assim que as ligações entre sensores e módulos de processamento de sinal, ligados posteriormente a um computador pessoal que possui a aplicação *Data Logger Basic*, foram corretamente executadas.

Após a realização deste trabalho, sobretudo pela revisão bibliográfica realizada, fica a ideia de que existe uma enorme lacuna ao nível de estudos sobre coberturas verdes em Portugal. Ao nível de legislação aplicável, a nível nacional, simplesmente não existe. A título de sugestões futuras, aconselha-se a criação de protocolos entre empresas, devidamente preparadas e autorizadas a efetuar a construção de coberturas verdes, e entidades governamentais, a fim de realizarem eventos de sensibilização da população para a temática e respetivos benefícios. A criação de incentivos à utilização de coberturas verdes, pelo menos nos grandes centros urbanos, seria também um fator que certamente impulsionaria esta “nova” forma de construção.

Avaliando as potencialidades que as coberturas verdes têm sobre os escoamentos de águas pluviais, remoção de compostos poluentes presentes no ar atmosférico e redução de temperatura no interior e exterior dos edifícios, é importante que existam mais entidades envolvidas no estudo. Desta forma, para melhor conhecer e reportar os benefícios das coberturas é importante que se estudem as coberturas verdes ao longo das diferentes estações do ano, para avaliar a retenção de águas pluviais, por um lado, e, por outro lado, quantificar a redução de energia

consumida quer com o aquecimento quer com o arrefecimento das habitações, visto escasseia bibliografia reportando este tipo de informação.

No que diz respeito à vegetação utilizada nas coberturas verdes, é importante estudar-se a resistência das diferentes plantas aos vários tipos de climas existentes, em particular, em Portugal, e estabelecer uma relação entre esses climas e o tipo de vegetação mais adequada. Ainda referente ao estudo da vegetação pode investigar-se a influência da camada de substrato no desenvolvimento desta, isto é, tentar definir uma altura mínima de substrato para a qual as coberturas verdes se desenvolvem em boas condições.

BIBLIOGRAFIA

[Online] <http://www.arq-e-tec.webege.com>.

Ampla. 2011. Consciência ampla. [Online] 25 de Novembro de 2011. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://www.conscienciaampla.com.br/2011/11/25/telhados-verdes-para-um-mundo-mais-fresco-e-bonito/>.

—. **2010.** Consciência Ampla. [Online] 19 de Julho de 2010. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://www.conscienciaampla.com.br/2010/07/19/quai-branly/>.

—. **2011.** Consciência Ampla. [Online] 05 de Agosto de 2011. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://www.conscienciaampla.com.br/2011/08/05/museu-espanhol-ganha-cobertura-verd/>.

Berndtsson, Justyna Czemieli. 2009. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*. 2009.

Castleton, H.F., et al. 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. 2010.

Cathy. 2009. *Green Eco Services*. [Online] 09 de Março de 2009. [Citação: 16 de Fevereiro de 2011.] <http://www.greenecoservices.com/history-of-green-roofs/>.

Coberturas Verdes. 2011. Coberturas Intensivas. *Coberturas Verdes*. [Online] 2011. [Citação: 31 de Outubro de 2011.] <http://coberturasverdes.com/img/600x225/exemplo-cobertura-intensiva-002.jpg>.

Darby. 2010. Darby blog. [Online] 26 de Junho de 2010. [Citação: 10 de Julho de 2011.] <http://darbylrclarine.blogspot.com/2010/06/jardins-suspensos-da-babilonia.html>.

Dunnett, Nigel, et al. 2008. Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments. 2008.

Emory Knoll Farms, Inc. 2011. Green Roof Plants. [Online] 2011. [Citação: 12 de Julho de 2011.] <http://www.greenroofplants.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/03/HazeltonRoof.jpg>.

—. **2011.** Green Roof Plants. [Online] Emory Knoll Farms, Inc., 2011. [Citação: 31 de Outubro de 2011.] <http://www.greenroofplants.com/wordpress/wp-content/uploads/2010/03/SEmix1.jpg>.

Erica Oberndorfer, Jeremy Lundholm, Brad Bass, Reid R. Coffman, Hitesh Doshi, Nigel Dunnett, Stuart Gaffin, Manfred Köhler, Karen K. Y. Liu, and Bradley Rowe. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*. 2007, Vol. 57.

Fernandes, Francisca Maria e Carvalho, Luís Mendonça de. 2003. *Portugal Botânico de A a Z - Plantas Portuguesas e Exóticas*. s.l. : Lidel, 2003. ISBN: 9789727572656.

Ferreira, Ana Luísa Almeida, Monteiro, Carla Sofia Silva e Breda, Iris Pereira. 2011. *MONTAGEM DE UM LABORATÓRIO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS*. Aveiro : s.n., 2011.

Fioretti, R., et al. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. 2010.

Fishburn, Douglas C. 2004. *Practical considerations on design and installations of green roofs: The waterproofing challenge*. 2004.

Getter, Kristin L. e Rowe, D. Bradley. 2008. Media depth influences Sedum green roof establishment. 2008.

Green Roofs For Healthy Cities. 2007. Ford Plant. [Online] 12 de Fevereiro de 2007. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://www.greenroofs.org/index.php/grhcommittees/290?task=view>.

GreenSpec. 2010. [Online] 2010. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://www.greenspec.co.uk/green-roofs-1.php>.

Heneine, Maria Cristina Almeida de Souza. 2008. “COBERTURA VERDE”. Belo Horizonte : s.n., 2008.

Jim, C.Y. e He, Hongming. 2010. Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. 2010.

José Grácio, Alessandro Gandini, Ana Barros, Ana Velosa, António Pereira, Carla Lopes, Gustavo Esteves, Jorge Girão, Tito Trindade, Victor Ferreira, César Correia, Luís Silva. 2006. *Associação para o desenvolvimento da Casa do Futuro - Sub-Projetos de Revestimentos*. Aveiro : s.n., 2006.

Lanham, Ana, Gama, Pedro e Braz, Renato. 2004. *Arquitectura Bioclimática: Perspectivas de inovação e futuro. Seminários de Inovação*. Lisboa : s.n., 2004.

Lara, Lessandra. 2011. alô , terra? [Online] 4 de Abril de 2011. [Citação: 10 de Julho de 2011.] <http://www.aloterra.com.br/tag/vegetacao/>.

Lawlor, Gail, et al. 2006. *A Resource Manual for Municipal Policy Makers*. Canada : s.n., 2006.

Lopes, Jorge M. Grandão. 2004. *As especificações das coberturas ajardinadas. 2º Congresso Nacional de Construções, Lisboa*. 2004.

—. **2002.** *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço*. Lisboa : s.n., 2002.

Lusocuanza. 2011. Coberturas Vegetais – Cidades cada vez mais sustentáveis. [Online] 2011. [Citação: 12 de Dezembro de 2011.] http://www.lusocuanza.com/modo1_pd.php?sid=6&ssid=24&pid=3070.

M.Arch., Terri Meyer Boake B.E.S. B.Arch. 2005. Associate Professor School of Architecture University of Waterloo. [Online] 30 de Maio de 2005. http://www.architecture.uwaterloo.ca/faculty_projects/terri/fairmont_greenroof.html.

Matos, Manuel Arlindo Amador de. 2009. GESTÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS - Capítulo 1. *Apontamentos teóricos da disciplina de Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos*. Aveiro : s.n., 2009.

Monteiro, Ana Catarina Sousa Amaral. 2010. Coberturas "verdes": Mitos e Realidades. *Dissertação de Mestrado*. Coimbra : s.n., 2010.

Monterusso, M.A., et al. 2004. Runoff water quantity and quality from green roof systems. 2004.

Nagase, Ayako e Dunnett, Nigel. 2010. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. 2010.

Neoturf. 2011. Neoturf. [Online] 2011. [Citação: 12 de Setembro de 2011.] <http://www.neoturfonline.com/main.php?id=66>.

Oberndorfer, Erica, et al. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*. Novembro, Novembro de 2007, Vol. 57, Green Roofs.

Özisik, M. Necati. 1990. *Transferência de Calor - Um texto básico*. Rio de Janeiro : Guanabara , 1990.

Peck, Steven e Kuhn, Monica. *Design guidelines for green roofs*.

Peck, Steven W. e Callaghan, Chris. 1999. *Greenbacks from green roofs: Forcing a new industry in Canada*. Canada : s.n., 1999.

POLIURETANOS S.A. [Online] [Citação: 16 de Setembro de 2011.] <http://www.poliuretanos.com>.

SAND-RIO. 2007. SOL E MUDANÇAS CLIMATICAS. [Online] 2007. [Citação: 31 de Outubro de 2011.] <http://sandcarioca.wordpress.com/2010/08/15/as-ilhas-de-calor-urbano/>.

Simmons, Mark T., et al. 2008. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. 2008.

The city of windsor. 2011. The city of windsor. [Online] 2011. [Citação: 31 de Outubro de 2011.] <http://www.citywindsor.ca/DisplayAttach.asp?AttachID=11103>.

Viapol. [Online] [Citação: 29 de Outubro de 2011.] <http://www.viapol.com.br>.

Vilela, Waldeir Amaral. 2010. Estudo, Desenvolvimento e Caracterização de Radiómetros para Medidas da Radiação Solar. São Paulo : INPE, 2010.

Wordpress. 2010. Jornal do Bem. [Online] 2010. [Citação: 28 de Novembro de 2011.] <http://mundoparamorar.com.br/2011/10/21/cobertura-verde-pode-ser-bem-mais-que-telhado/>.

ZinCo. 2011. *Sistemas para coberturas ecológicas sustentáveis*. 2011.

Zinco. 2011. Zinco Product Information. 2011.